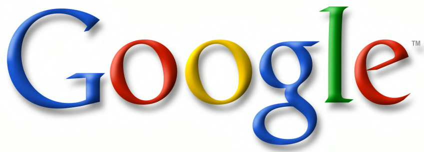
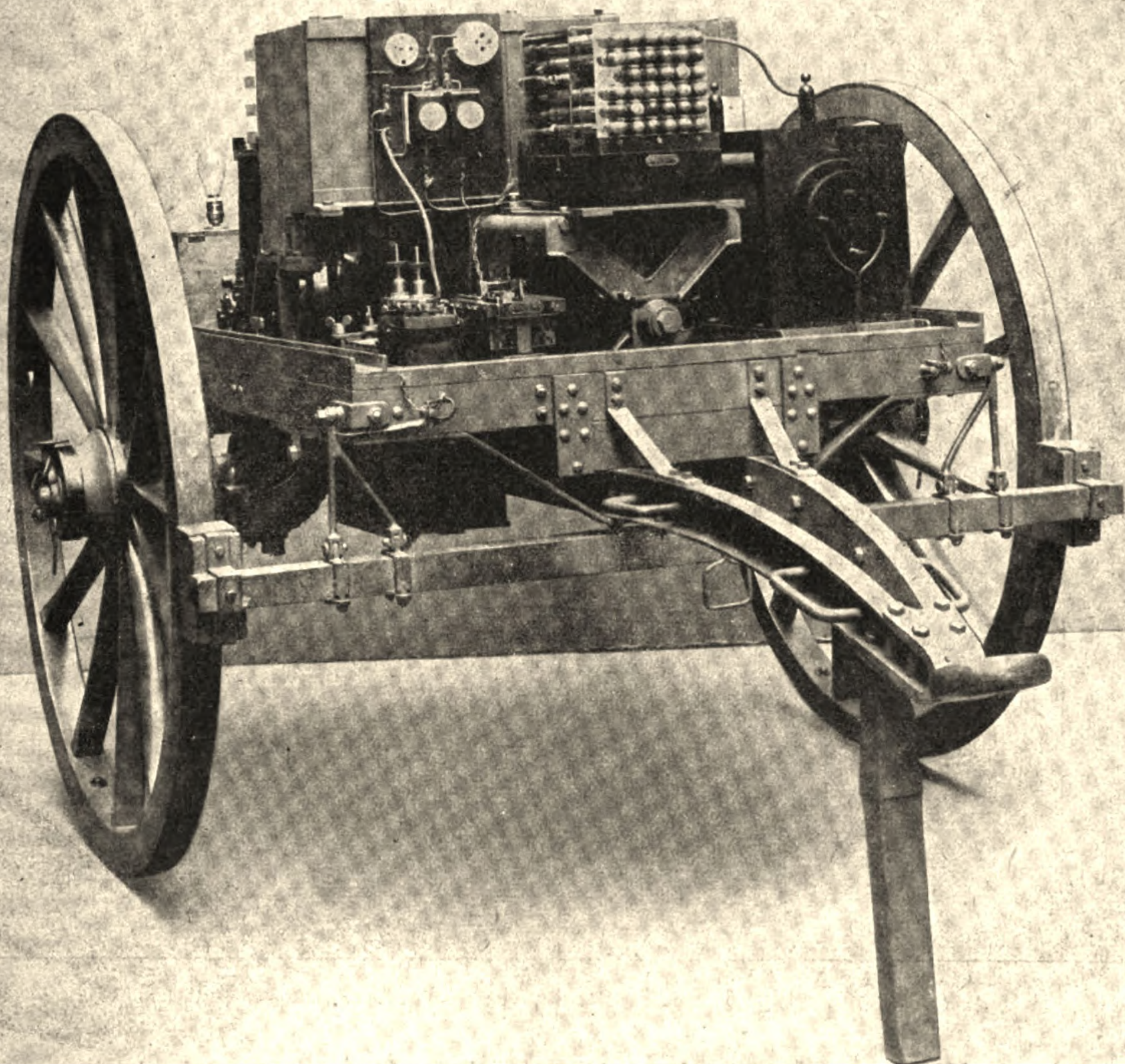
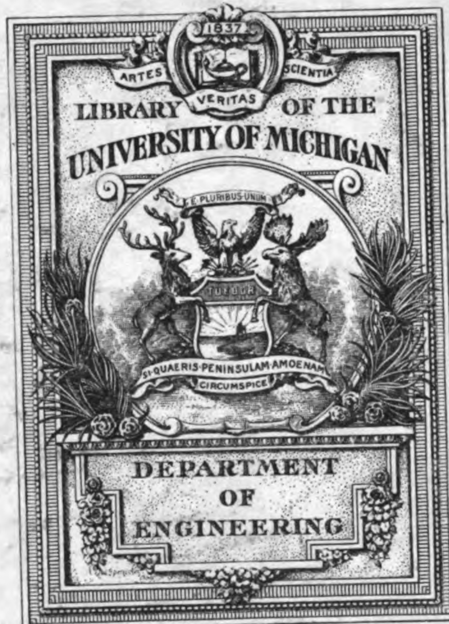
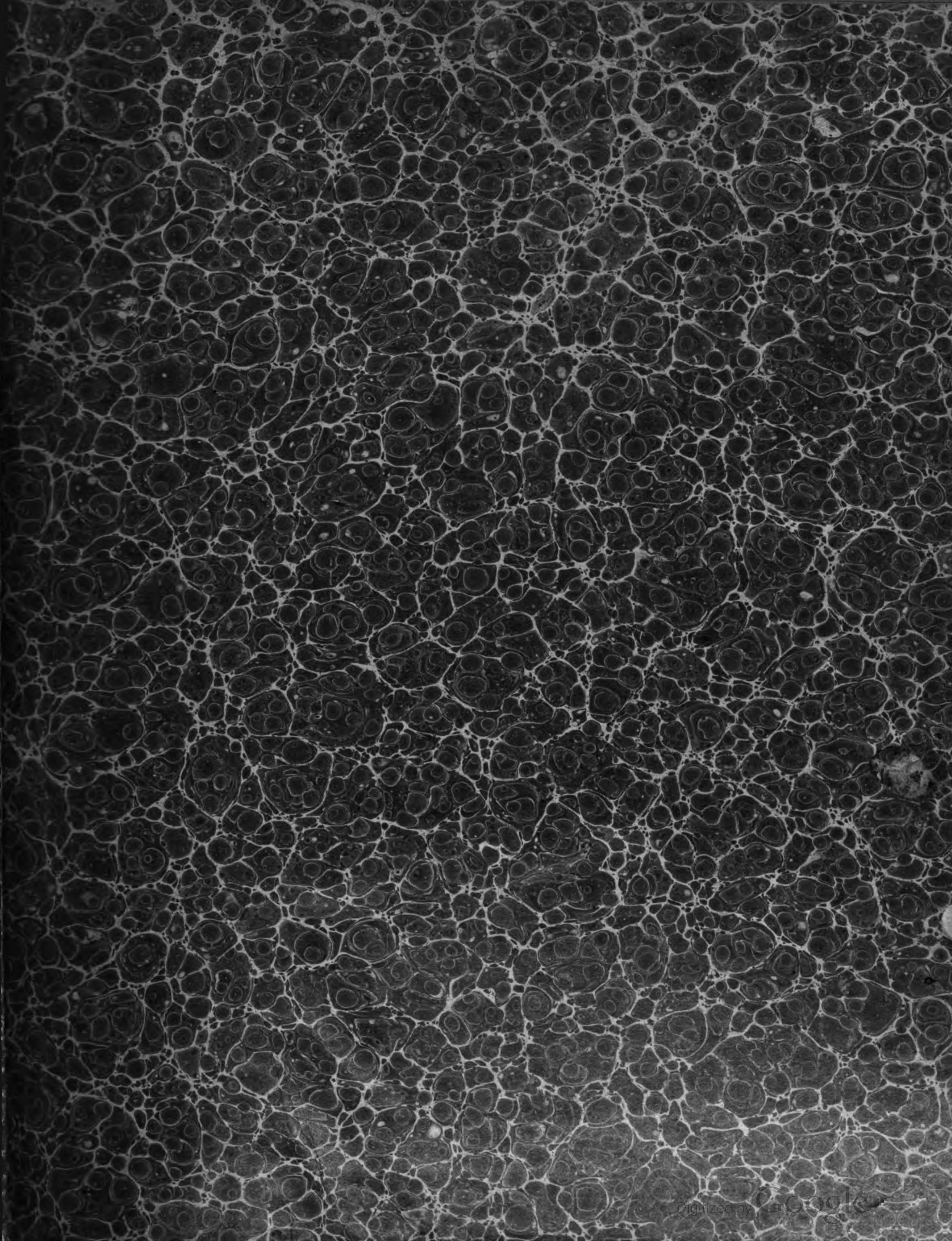




La Lumière électrique



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
DEPARTMENT
OF
ENGINEERING



L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE



DIRECTION SCIENTIFIQUE

A. D'ARSONVAL
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. BLONDEL
INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES,
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES PONTS
ET CHAUSSÉES.

G. LIPPMANN
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

D. MONNIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE CENTRALE
DES ARTS ET MANUFACTURES.

H. POINCARÉ
PROFESSEUR A LA SORBONNE,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. POTIER
PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES MINES,
MEMBRE DE L'INSTITUT.

A. WITZ
INGÉNIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES,
PROFESSEUR A LA FACULTÉ LIBRE DES SCIENCES DE LILLE.

J. BLONDIN
AGRÉGÉ DE L'UNIVERSITÉ
PROFESSEUR AU COLLÈGE ROLLIN.

TOME XXXV

2e TRIMESTRE 1903

PARIS

C. NAUD, ÉDITEUR

3, RUE RACINE, 3

Tome XXXV — Samedi 4 Avril 1903. — 10e Année. — N° 14

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LA TRACTION PAR LOCOMOTIVES A ACCUMULATEURS
SUR LES LIGNES BOLOGNA-SAN FELICE ET BOLOGNA-MODENA

La décision tout récemment prise de prolonger le tronçon Bologna-San Felice, qui a été soumis, en même temps que le tronçon Bologna-Modena, pendant 1901-1902, à une exploitation régulière de près de deux ans par locomotives à accumulateurs, résume en quelques mots les résultats acquis en disant que cette exploitation a répondu pleinement, aussi bien du côté technique que du côté financier, à l'attente des promoteurs. Dans quelque temps donc la traction électrique par accumulateurs sera étendue à un réseau de 97 km (60 km pour la ligne Bologna-San Felice-Poggio-Rusco, et 37 km pour la ligne Bologna-Modena). Grâce à son importance, cet essai



Fig. 1. — Vue de la gare de San Felice sur la ligne Bologna-San Felice.

peut fournir la mesure et le point de vue exact pour l'application de la traction électrique aux lignes qui ne s'adaptent ni au système à courant continu par troisième rail, ni au système à haute tension par courants alternatifs ; il mérite donc d'être étudié dans tous ses détails.

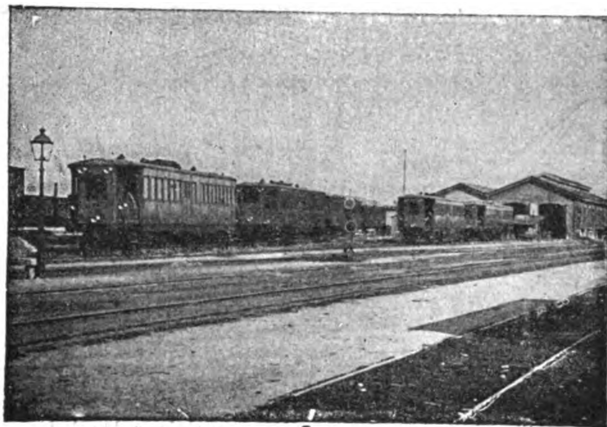


Fig. 2. — Les 4 voitures automotrices.

Il faut se rappeler que, quand la « Società delle Strade ferrate Meridionali » d'un côté, et la « Società Italiana di Elettricità già Cruto » de l'autre, se sont mises d'accord pour un essai de traction électrique par accumulateurs construits par la « Società già Cruto », elles ont procédé au choix de la ligne sur laquelle l'essai devait s'accomplir, avec un plan bien déterminé, qui leur a fait donner, en premier lieu, la préférence au tronçon Bologna-San Felice (42,480 km, fig. 1) avec une déclivité maxima de 5 p. 100; et plus tard à celui Bologna-Modena, avec une déclivité maxima de 5,5 p. 100.

A l'heure actuelle où tous les ingénieurs s'occupent avec intérêt de la traction électrique appliquée aux chemins de fer, quelques renseignements sur une des lignes les plus caractéristiques pour le système adopté, seront bien accueillis.

L'horaire-base de l'essai établissait une automotrice de réserve ; il résulta toutefois, dès le premier moment, que cette dernière était superflue, et il a été possible de cette manière d'adapter les horaires des automotrices aux exigences toujours croissantes du trafic.

Matériel roulant. — 1. *Voitures* — Le matériel roulant se compose de quatre automotrices (fig. 2), construites par la maison Diatto, de Turin, et équipées par la maison Ganz et Co, de Budapest; ce sont des voitures à deux boggies à deux essieux chacun, munies de freins à main et de freins Westinghouse, de deux moteurs tétrapolaires, excités en série, et de deux contrôleurs à deux tambours, un pour l'accouplement des sous-batteries, et l'autre pour l'accouplement des moteurs.

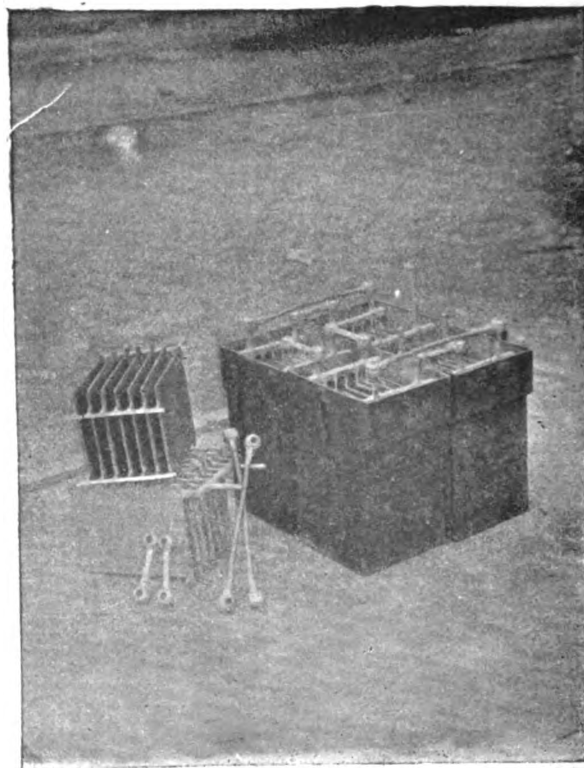


Fig. 3. — Détails d'un accumulateur.

2. *Accumulateurs.* — Les batteries, fournies par la « Società Italiana di Elettricità già Cruto », sont constituées par 288 éléments renfermés dans 12 caisses; quatre caisses constituent une sous-batterie ; chaque automotrice possède donc une batterie divisible en

trois sous-batteries qui peuvent être disposées en série ou bien en parallèle par un des tambours du contrôleur.

Les caisses renferment aussi une batterie pour l'éclairage, composée de 20 éléments plus petits que ceux pour la traction.

Dans ce service à accumulateurs, il faut signaler tout d'abord le système de montage des batteries, et le tableau de manœuvre des caisses.

Le montage se fait de la manière suivante : les éléments (réduits actuellement à 15 plaques, fig. 3) sont renfermés dans des boîtes en ébonite, placées elles-mêmes dans les caisses, qui sont renforcées à leur tour par des garnitures en fer. Les caisses sont logées dans le vide du châssis des voitures où elles reposent sur des traverses en bois et sont forcées entre une cloison intérieure verticale (avec interposition d'une bande de caoutchouc) et un longeron extérieur également en bois (Fig. 4, 5, 6, 7, 8 et 17).

Les caisses touchent donc la voiture qui les supporte par l'intermédiaire de 10 roulettes, 2 traverses en bois et une bande de caoutchouc. Les poulies et le caoutchouc se trouvent toujours à l'abri des conditions atmosphériques, car ils sont placés sous le châssis de la voiture, et les traverses sont recouvertes par les couvercles extérieurs des caisses.

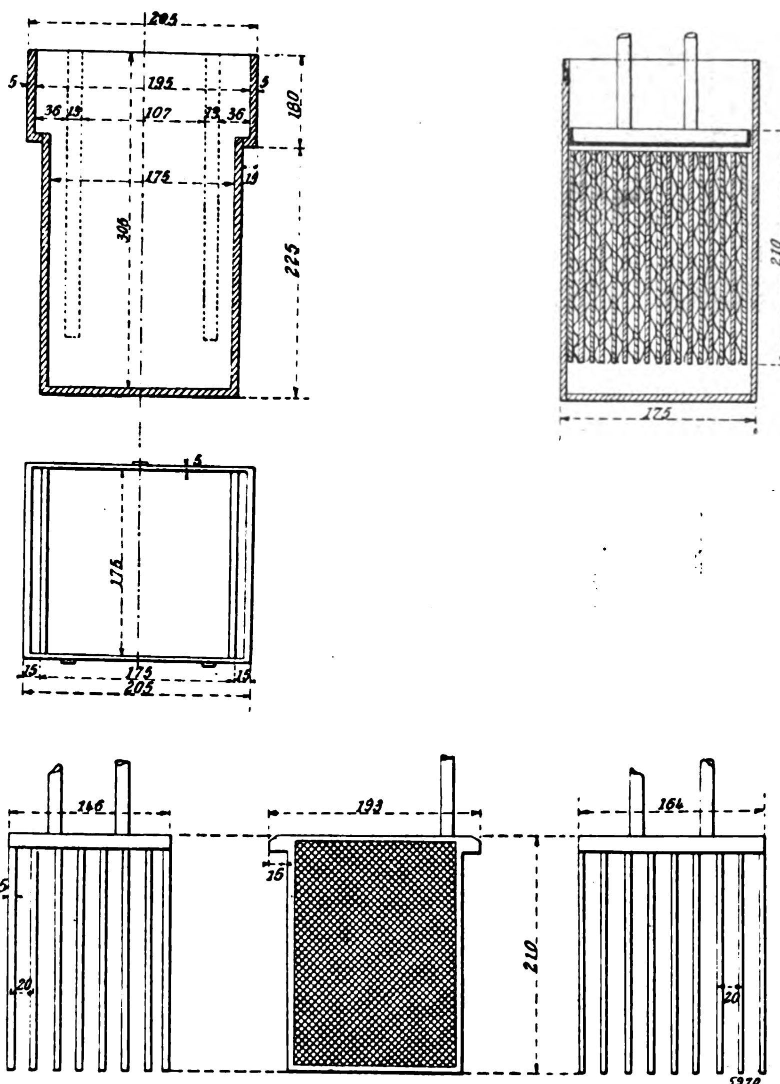


Fig. 4. — Accumulateurs.

Les deux pôles, positif et négatif, de chaque caisse, aboutissent au tableau placé dans le fourgon à bagages de l'automotrice ; les caisses de chaque sous-batterie sont disposées en série sur le tableau ou bien exclues de la série à l'aide de manettes, tandis que, comme il a été dit, le couplage des sous-batteries en série ou en parallèle est fait par le combinateur.

Grâce à un voltmètre et un commutateur faisant partie du tableau, on peut lire la tension entre les pôles de chaque caisse.

Le tableau atteint deux buts, un technique et l'autre économique.

Le premier but est atteint de la manière suivante : si, pendant la marche (qui se fait

toujours avec les trois sous-batteries en série), il se produit une interruption dans le circuit, le wattman s'en aperçoit tout de suite à cause du ralentissement; alors, sans quitter sa cabine, il appelle avec la sonnerie électrique le chef de train (qui se trouve dans le fourgon à bagages) et l'avertit de ce qui se passe à l'aide d'un porte-voix; le chef de train, en lisant la tension des caisses, note celle où une rupture s'est révélée, et l'exclut du circuit, en déplaçant la poignée correspondante sur le tableau (fig. 9 et 10).

Fig. 5. — Coupe transversale des caisses d'accumulateurs.

Entre l'instant où le wattman a remarqué l'interruption du circuit et celui où l'on a reconstitué la série des caisses, il ne s'écoule que quelques minutes; les voyageurs ne remarquent rien : la marche ne s'interrompt pas et se continue avec $1/12^e$ en moins de la tension, donc dans des conditions qui diffèrent peu de la normale.

Le service procède avec une si grande régularité que, pendant les 188 510 km parcourus, le tableau a été manœuvré deux fois seulement pour l'élimination d'une caisse.

Le but économique est atteint de la manière suivante : pour qu'une batterie fonctionne

Fig. 6. — Coupe longitudinale des caisses d'accumulateurs.

toujours régulièrement, il faut vérifier après chaque décharge la tension ou la densité de la solution de chaque élément, et la rectifier s'il le faut. Dans les batteries de la San Felice comprenant, comme on l'a dit, 288 éléments, les décharges journalières sont au nombre de cinq : ce seraient donc 1 440 éléments dont chaque jour, tout au moins, on devrait vérifier la tension ou la densité de l'électrolyte. Le tableau réduit la vérification seulement aux éléments qui exigent d'être rectifiés; aussitôt qu'une décharge est achevée, c'est-à-dire

aussitôt que l'automotrice est de retour d'une course, on lit la tension des caisses sur le voltmètre du tableau, ce qui demande une minute. Si les éléments se trouvent dans de bonnes conditions de décharge, sitôt le circuit ouvert, leur tension se relève à deux volts environ et on lit au voltmètre le double de leur nombre. Si au contraire un ou plusieurs éléments se trouvent dans de mauvaises conditions, on lit un numéro inférieur au double nombre des éléments contenus dans la caisse correspondante. De la différence entre le nombre lu et celui que l'on devrait lire, on déduit à peu près combien d'éléments demandent à être vérifiés.

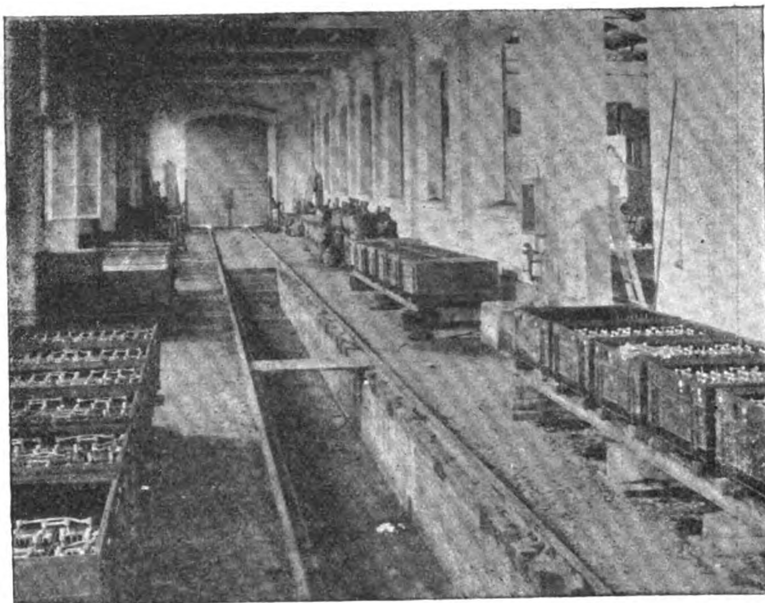


Fig. 7. — Dépôt des accumulateurs.

Or une batterie bien entretenue, après une décharge, ne présente jamais plus d'un ou deux éléments à rectifier ; sur la ligne en question, 1 440 éléments en fournissent 8 ou 10 de défectueux et souvent moins.

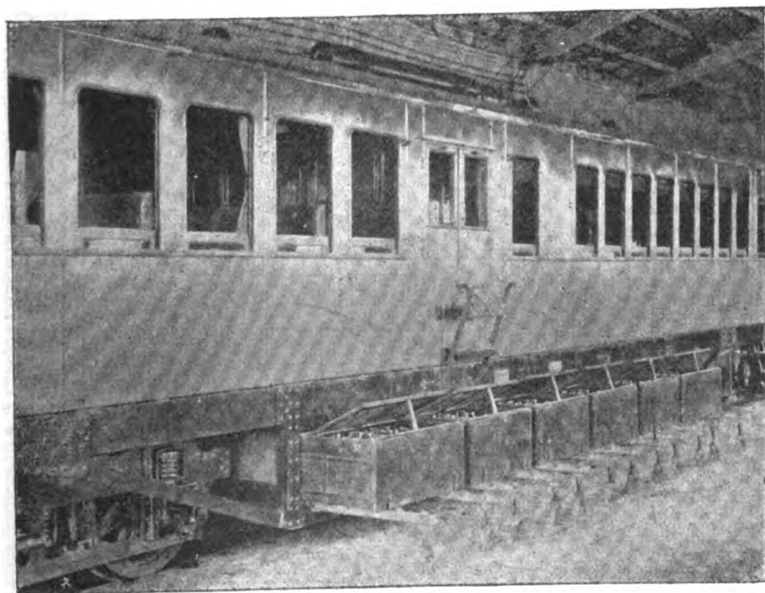


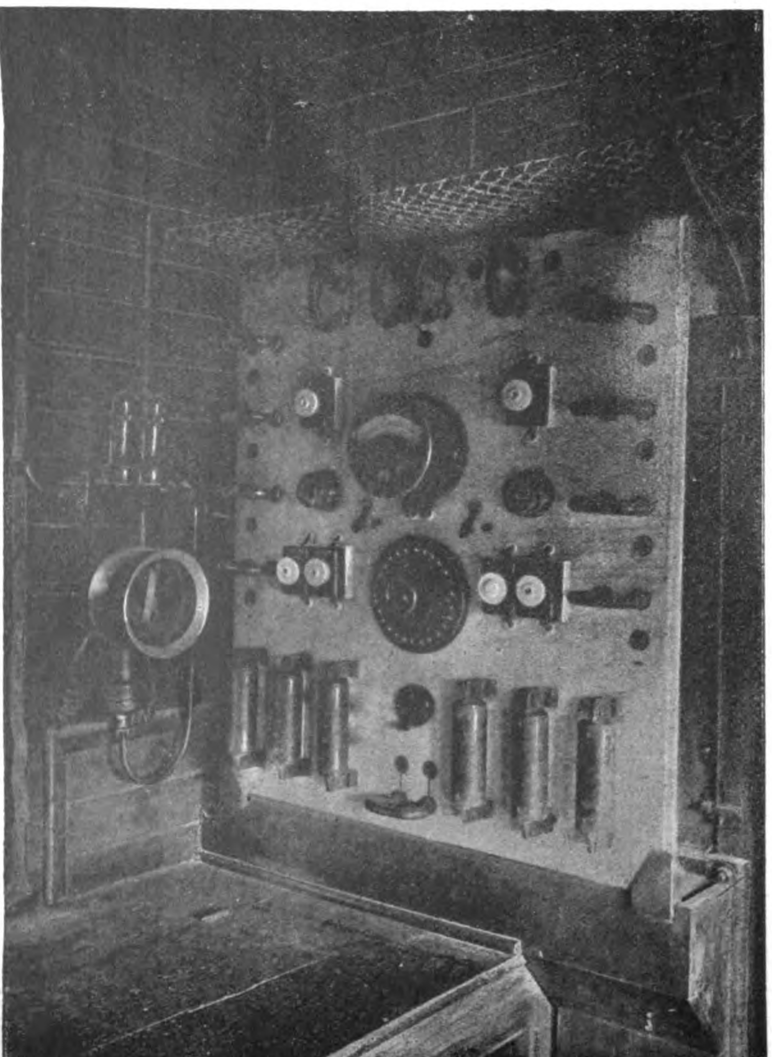
Fig. 8. — Mode d'extraction des caisses.

Les caisses peuvent s'enlever de l'automotrice partiellement ou totalement avec grande facilité ; deux personnes enlèvent les douze caisses en moins de dix minutes. L'extraction totale ne se fait que pour renouveler les plaques à toute la batterie ; celle partielle se fait pour la vérification et la rectification des élémens et pour la charge (fig. 8).

L'extraction totale pourrait se faire aussi (dans des pièces convenables) pour utiliser davantage les automotrices en substituant à toute batterie déchargée une batterie chargée.

Les bons résultats techniques et économiques — si différents de ceux connus jusqu'ici aussi bien dans la traction par accumulateurs sur chemin de fer, que celle de tramways

***



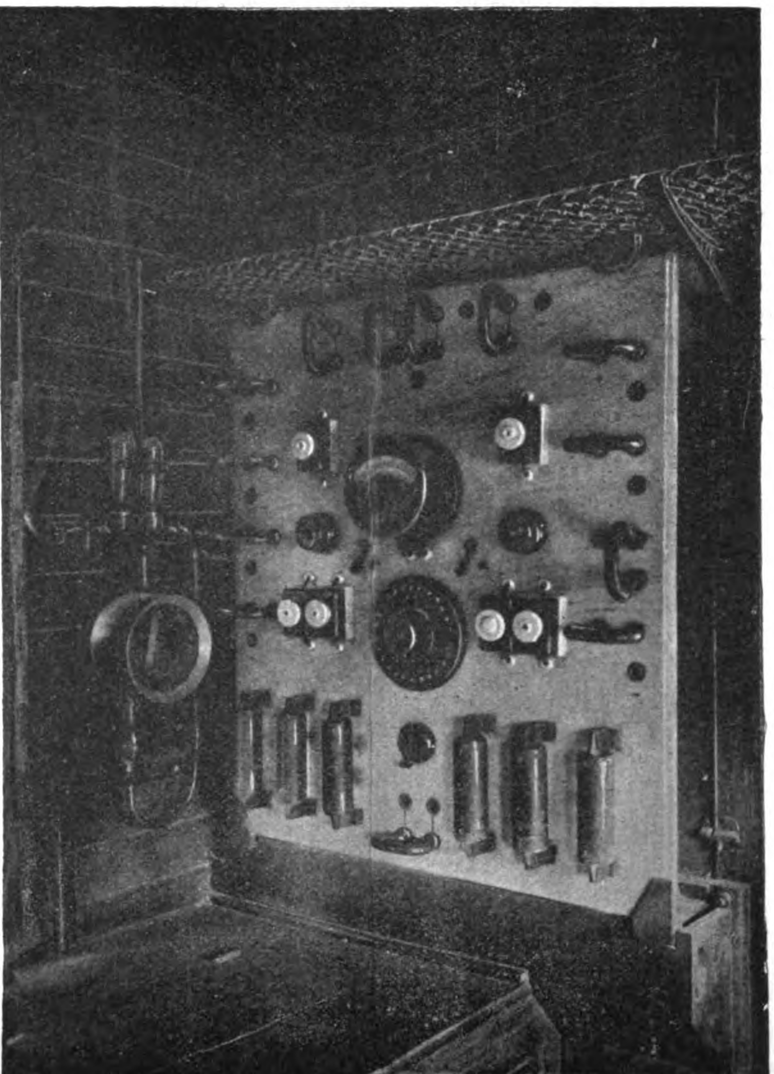
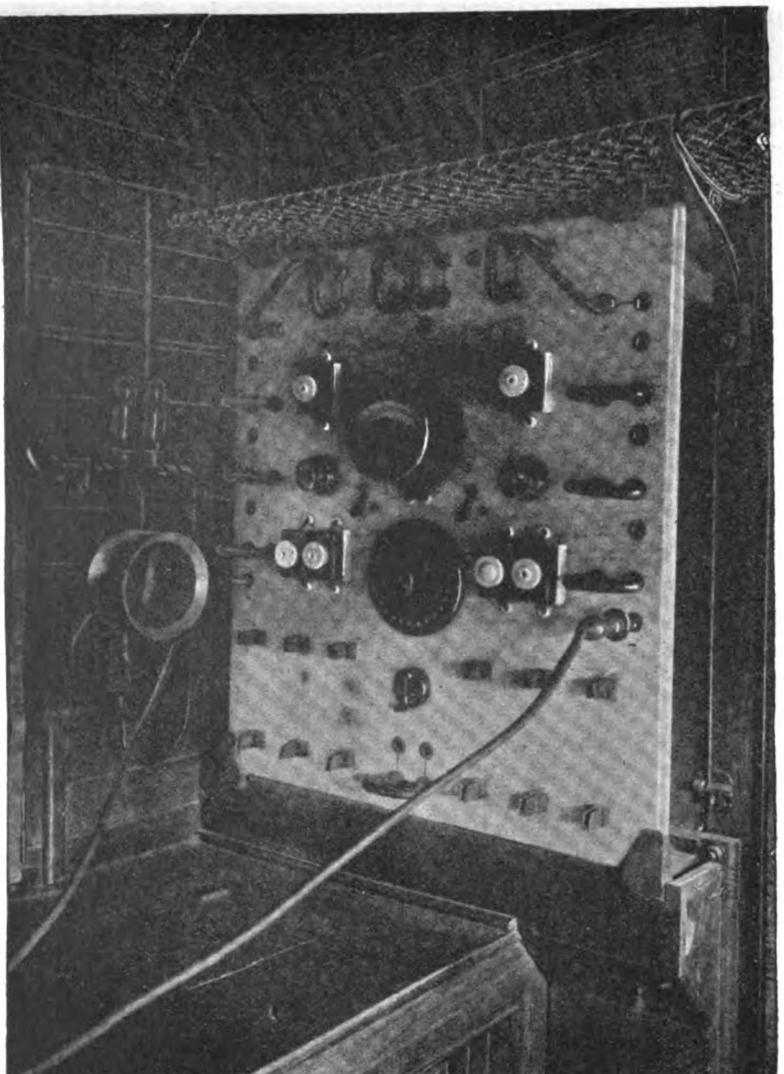


Fig. 9 et 10. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les 4 caisses sont couplées pour la marche normale; dans la figure de droite une des caisses est exclue (poignée verticale).



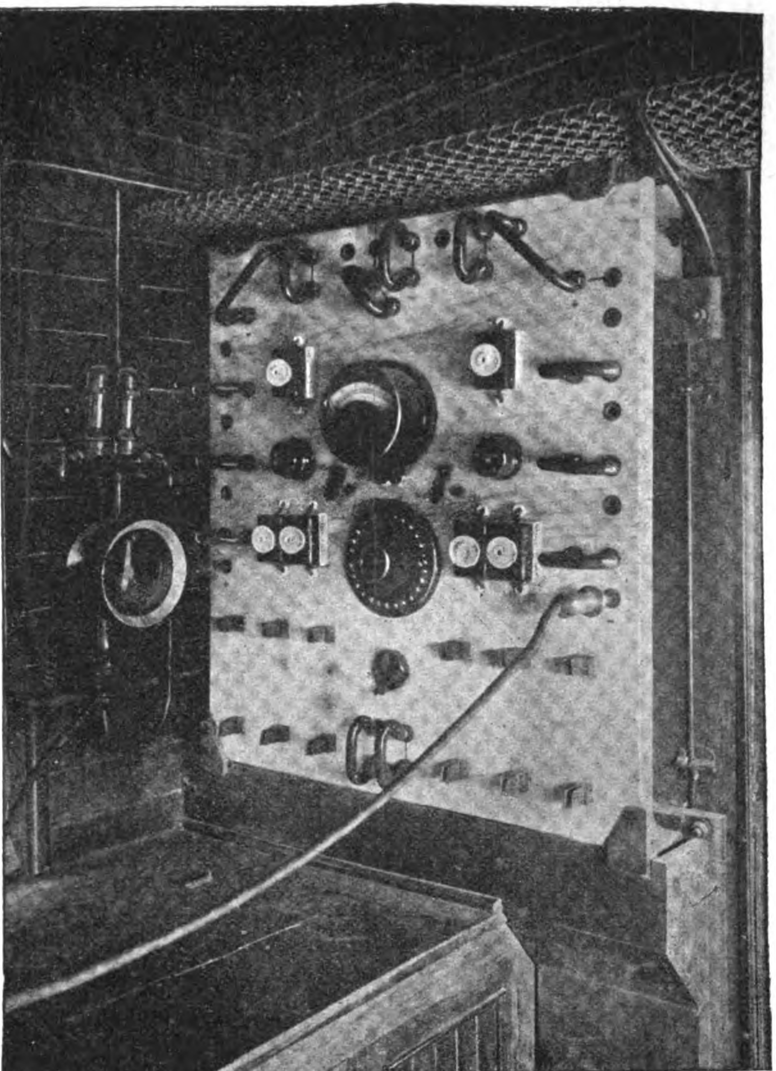
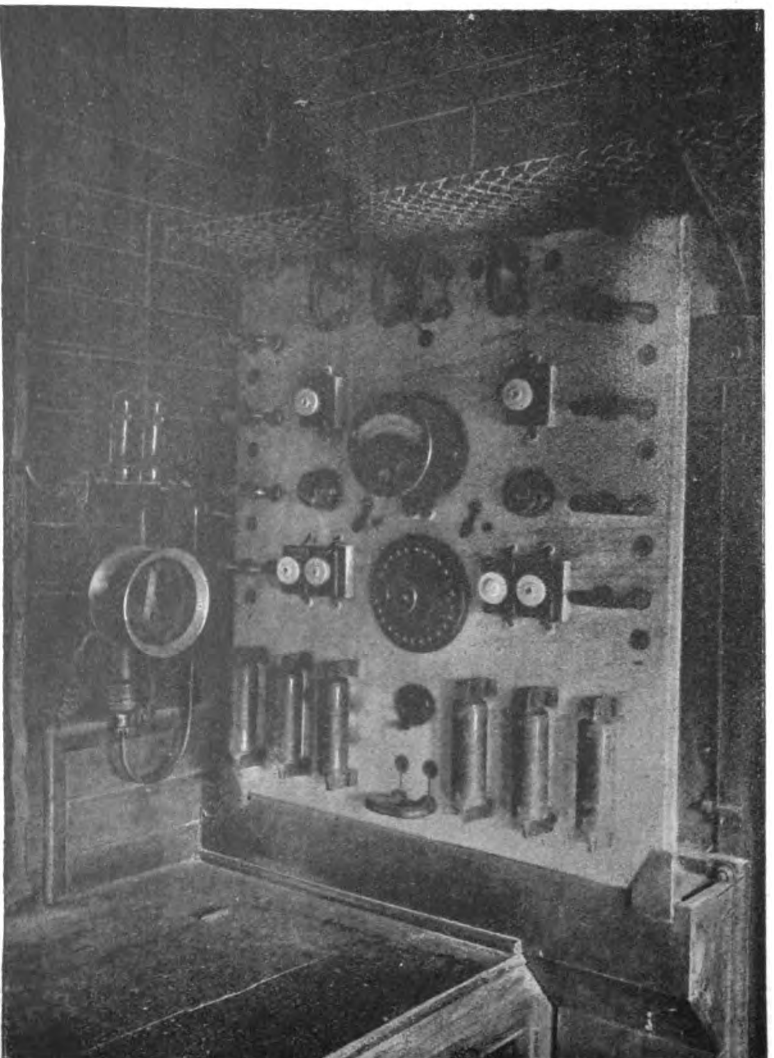


Fig. 11 et 12. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les connexions sont établies pour la charge de la batterie de traction seule ; dans celle de droite les connexions correspondent à la charge en série de la batterie de traction et de la batterie de lumière.



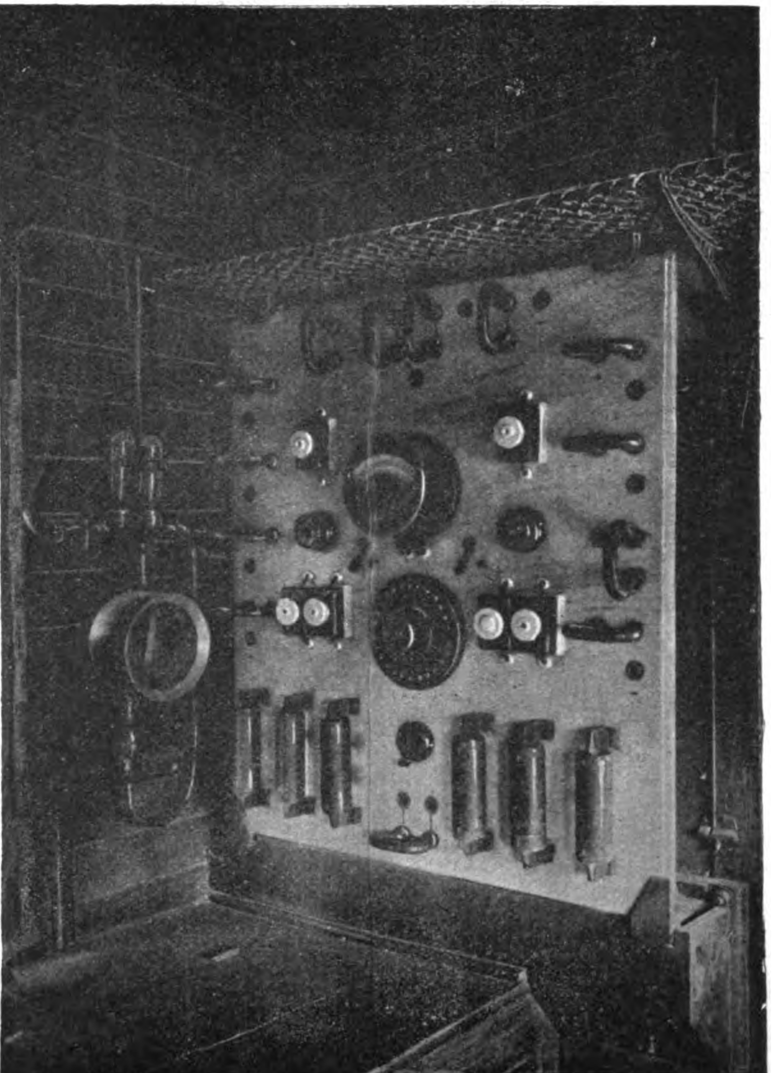
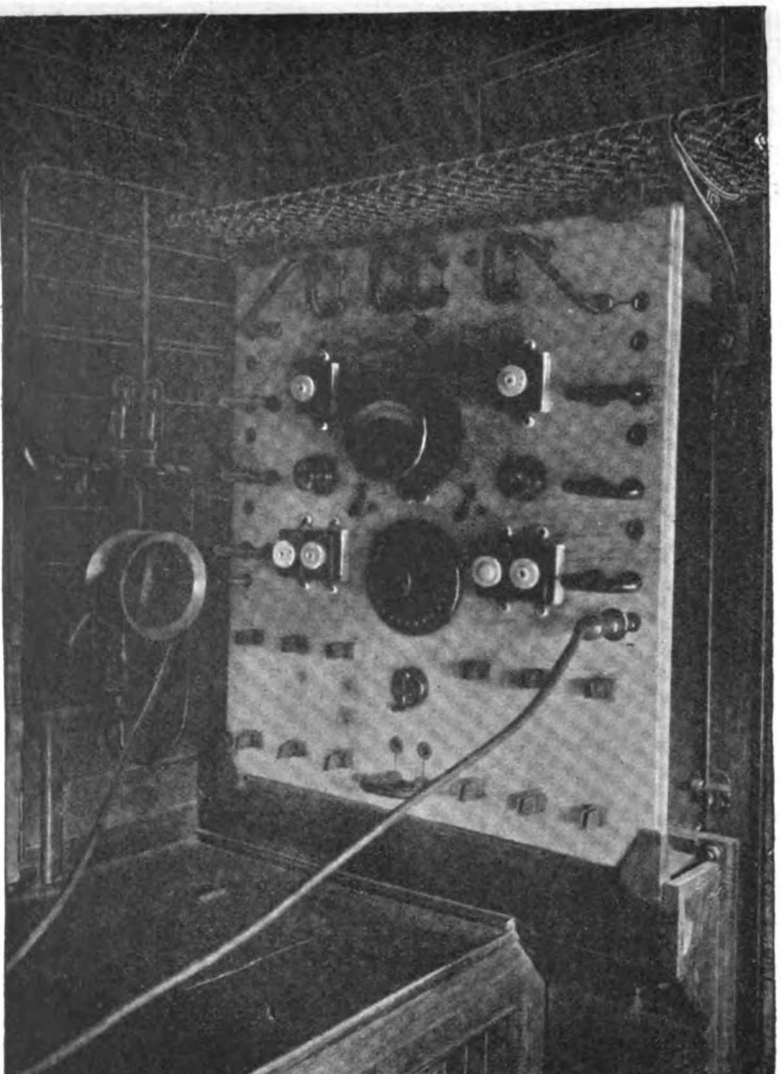


Fig. 9 et 10. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les 4 caisses sont couplées pour la marche normale ; dans la figure de droite une des caisses est exclue (poignée verticale).



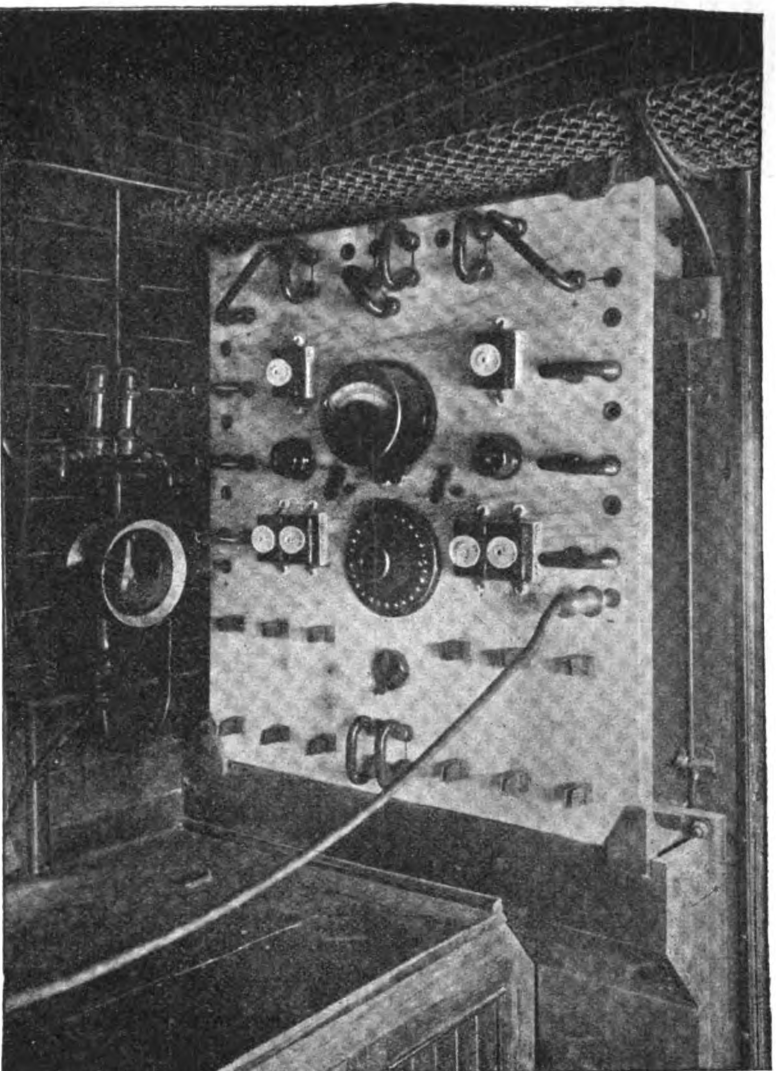
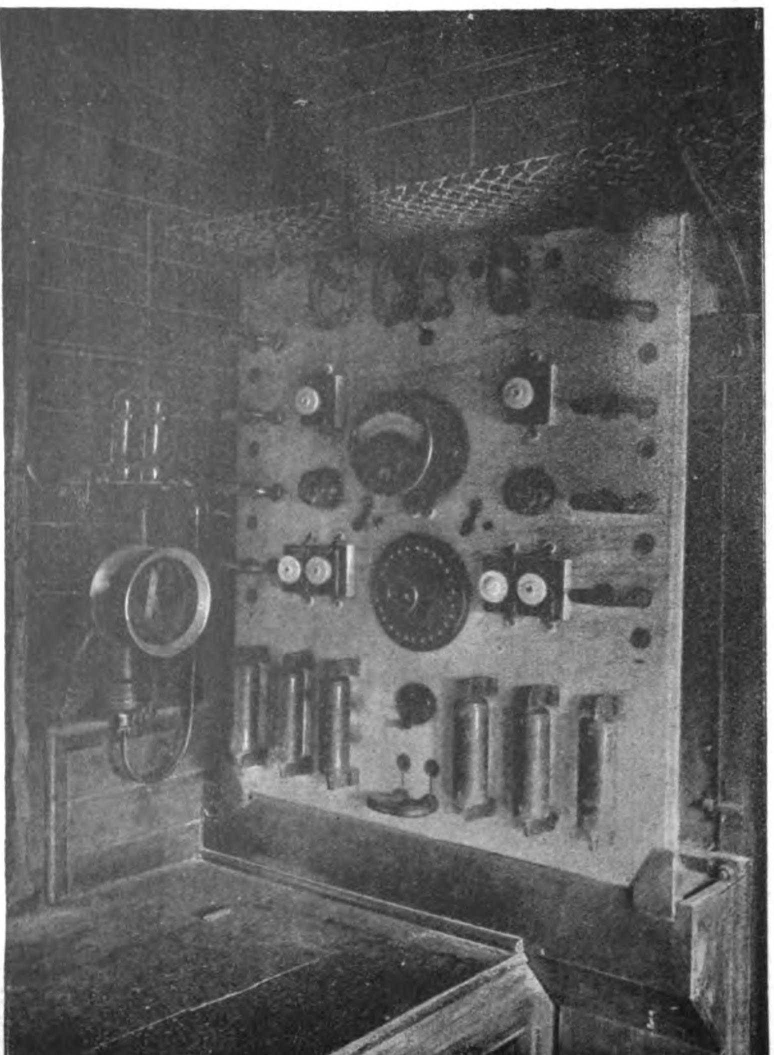


Fig. 11 et 12. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les connexions sont établies pour la charge de la batterie de traction seule; dans celle de droite les connexions correspondent à la charge en série de la batterie de traction et de la batterie de lumière.



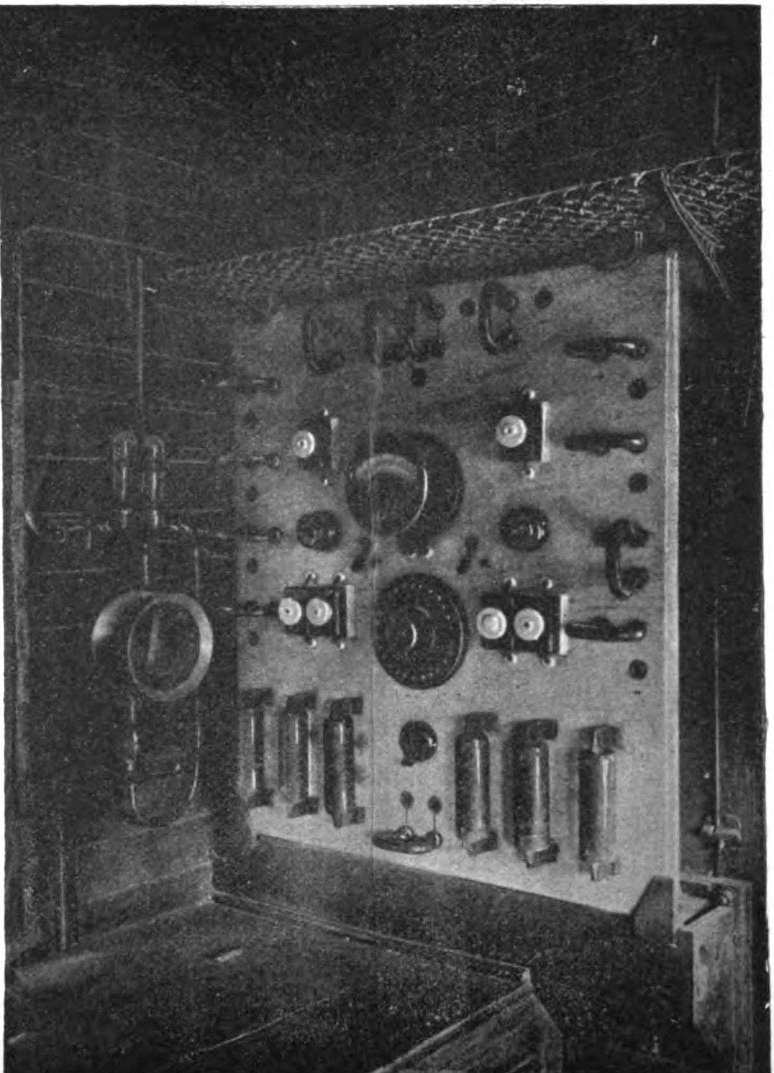
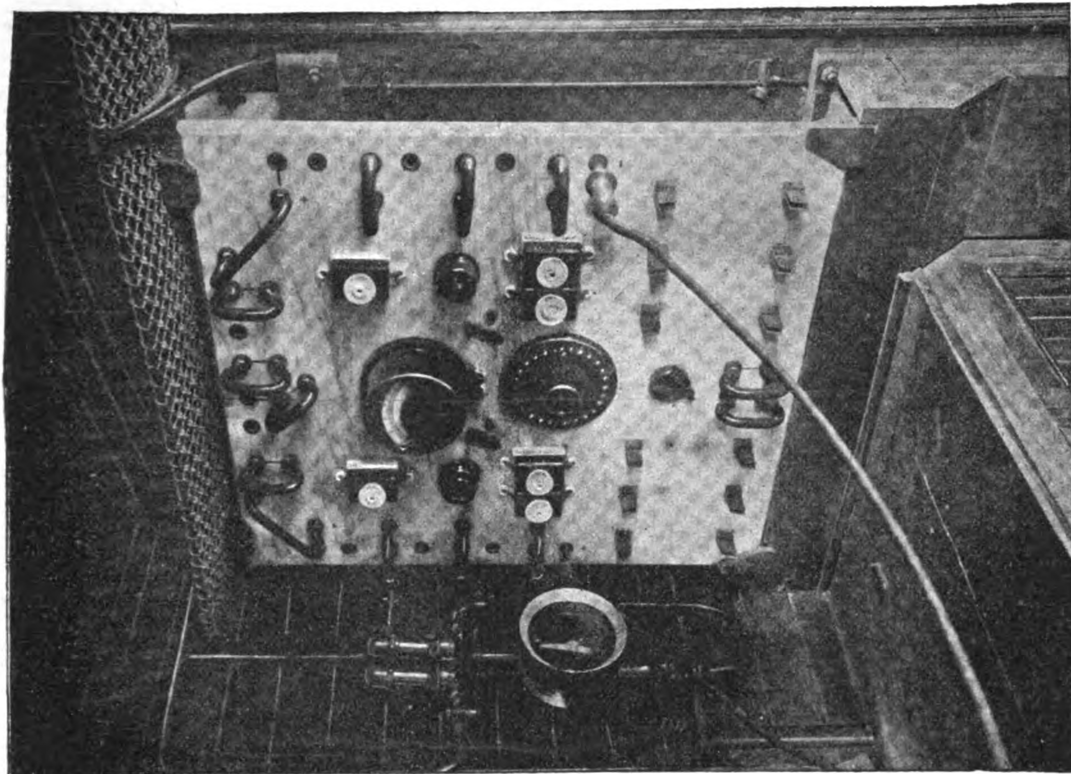


Fig. 9 et 10. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les 4 caisses sont couplées pour la marche normale ; dans la figure de droite une des caisses est exclue (poignée verticale).



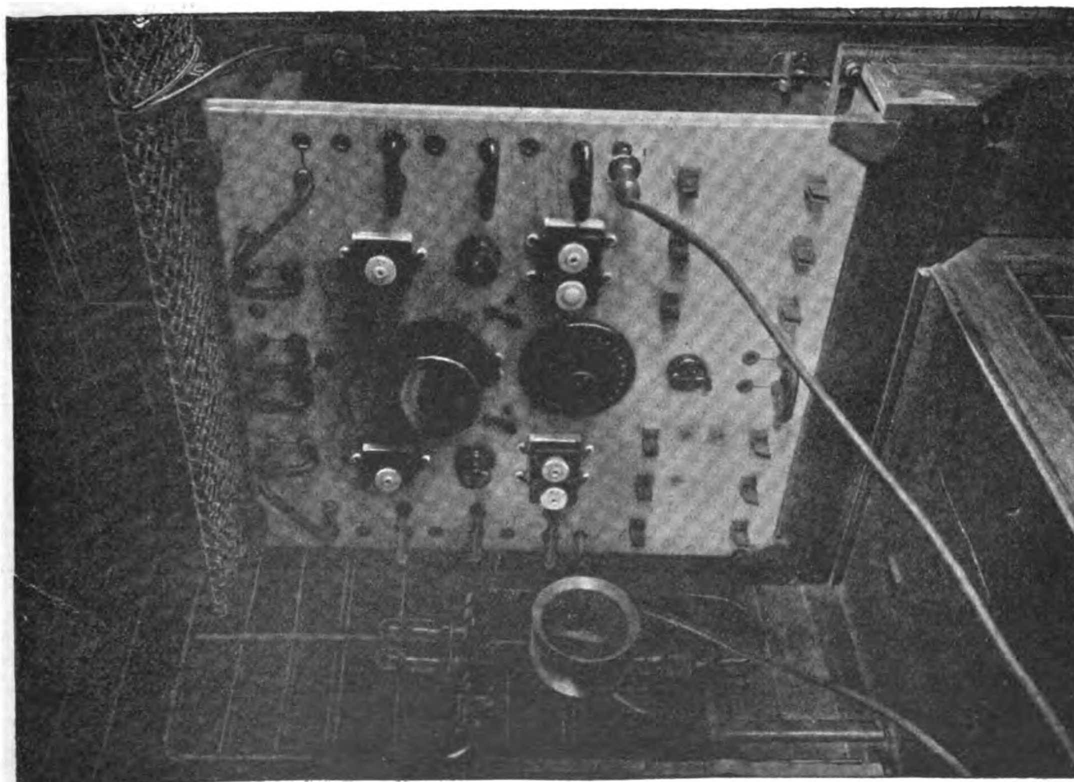


Fig. 11 et 12. — Tableau pour le contrôle des caisses d'accumulateurs.
Dans la figure de gauche les connexions sont établies pour la charge de la batterie de traction seule ; dans celle de droite les connexions correspondent à la charge en série de la batterie de traction et de la batterie de lumière.

— sont dus exclusivement au tableau (fig. 9, 10, 11 et 12), à la construction et au montage des caisses, et aux dispositions de détail spéciales à cette installation.

La supériorité des automotrices (fig. 14) a été constatée à la fois sur le parcours Bologna-Ferrara-Bologna (94 km avec déclivités de 10 par mille) et sur celui triple San Felice-Poggio Rusco-San Felice (102 km).

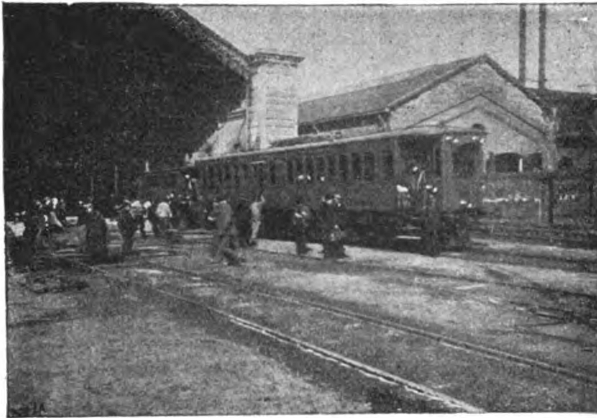


Fig. 13. — Embarquement et débarquement des voyageurs.

Quand l'essai s'est transformé en un service régulier, le trafic de la ligne est devenu très intense par suite de la réduction des tarifs.

La ligne Bologna-San Felice sert à la communication de nombreux mais modestes centres agricoles avec leur chef-lieu régional. Le trafic des voyageurs était par le passé presque insignifiant sur cette ligne ; il atteignait avec peine 180 voyageurs pour toutes les gares, et plus limité encore y était le trafic des marchandises.

A présent le trafic de la ligne est tout autre : déjà depuis mai à décembre 1901 on a eu une moyenne journalière de 832 voyageurs et une recette pour les marchandises de 9000 fr.

L'horaire (convenu avec la Societa della Sviluppo per le Imprese Elettriche in Italia » qui fournit l'énergie triphasée aux moteurs de la station de charge à Bologna), les dispositions de service antérieurement adoptées, la qualité des machines de charge, ne permettent pas un parcours journalier dépassant 413 km.

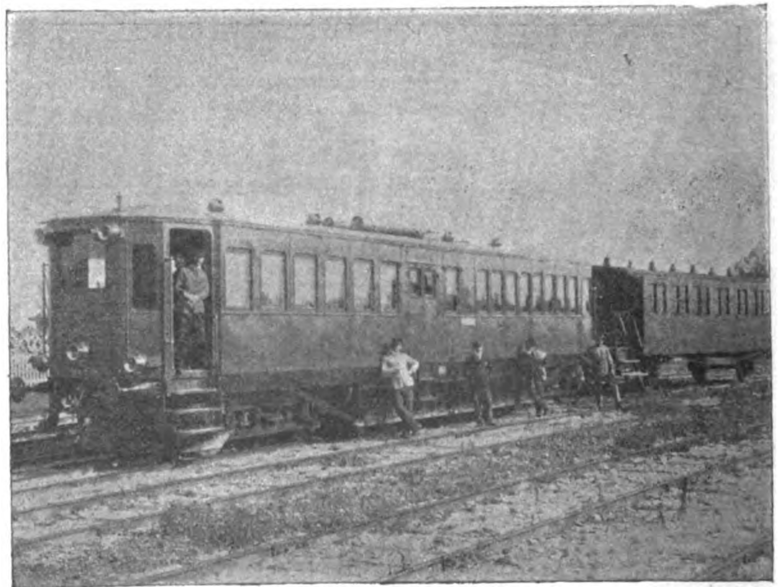


Fig. 14. — Vue d'une automotrice de la ligne Bologna-Ferrara.

Avec un autre horaire et avec d'autres machines de charge ce parcours pourrait s'élever à 1020 km et croître encore davantage en remplaçant, dans les automotrices, les batteries déchargées par d'autres chargées ou en augmentant la vitesse commerciale.

La « Società delle Strade Ferrate Meridionali » a construit déjà à Poggio Rusco (fig. 15), avec l'autorisation du Gouvernement italien, une station de charge avec deux groupes de 60 kilowatts chacun, actionnés par des moteurs à vapeur, en vue d'étendre la traction électrique au nouveau tronçon San Felice-Poggio Rusco. En chargeant aux deux

têtes de ligne Bologna-Poggio Rusco, on peut accomplir l'entier parcours (60 km) avec les automotrices remorquant une ou deux voitures ; par l'adoption de batteries d'une capacité supérieure (qui entreront bientôt en service), l'entier parcours d'aller-retour (120 km) pourra s'effectuer en chargeant les batteries à une seule des extrémités, comme cela a lieu actuellement.

Les différentes mesures prises à diverses époques sur les tronçons dont il s'agit, ont conduit aux conclusions suivantes :

Avec les accumulateurs ordinaires et sur les rails à fortes déclivités, la traction par accumulateurs est impossible lorsque la vitesse dépasse 115 km à l'heure, et à la vitesse de 54 km à l'heure le poids des accumulateurs égale celui du train ; mais, puisque aujourd'hui sur les fortes déclivités on se contente d'une vitesse infiniment moindre que celle de 115 km par heure, et qu'on adopte la traction triple même avec des trains relativement légers, il en résulte que, même au point de vue du poids mort, la locomotive à accumulateurs ne se trouverait pas dans des conditions d'infériorité vis-à-vis de celle à vapeur.

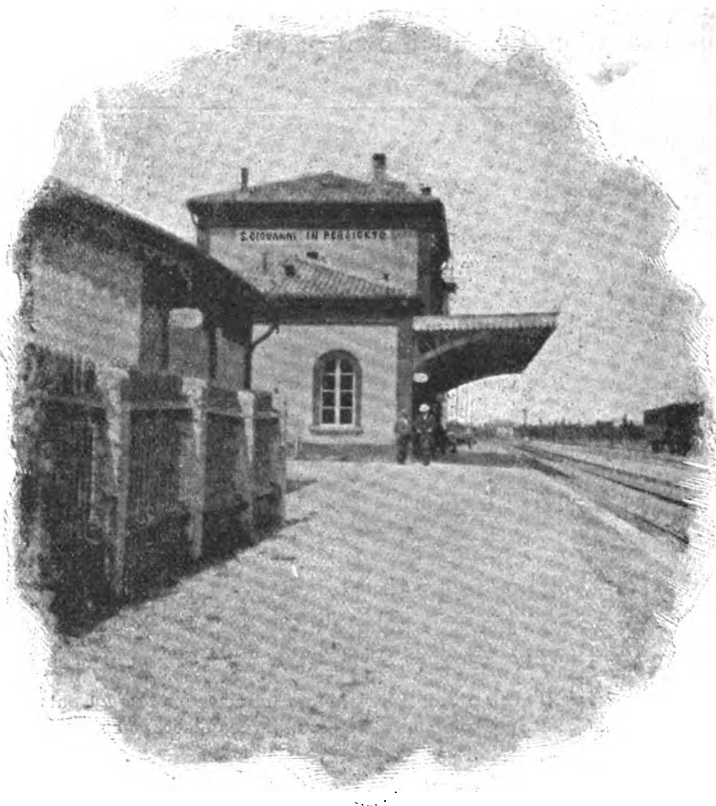


Fig. 15. — Station de Poggio-Rusco où sont installés deux nouveaux groupes de charge.

II. Comparaison entre les locomotives a vapeur et a accumulateurs. — Cela posé, pour passer de ces considérations plus ou moins théoriques, au côté pratique de la question, qu'il nous soit permis — écrit à ce propos M. l'ingénieur D. Civita — de faire une comparaison un peu plus détaillée entre la locomotive à vapeur et celle électrique, c'est-à-dire examinons s'il est ou n'est pas possible de construire une locomotive à accumulateurs, de la même puissance, qui se prête au même service, qui atteint la même vitesse ou les mêmes trains et les mêmes poids à peu près qu'une locomotive à vapeur, en considérant cette dernière au point de vue de notre organisation des chemins de fer et de nos lignes. Si nous arrivons à prouver que cela est possible, et qu'il en résulte en outre un avantage économique, notre but sera atteint.

Les locomotives employées en Italie sur les réseaux Mediterranea et Adriatica sont au nombre de 2 500 environ, de construction satisfaisante et répondent à 40 types environ. Nous trouvons que l'on a en moyenne un poids adhérent sur les roues de 30 tonnes, un effort de traction maxima de 5 000 kg à petite vitesse, une puissance indiquée de 500 chevaux effectifs, un poids (locomotive et tender) par cheval effectif au crochet de traction de plus de 150 kg avec une vitesse maxima de 60-70 km : h, celle de 80 et 85 km : h étant atteinte par quelques types seulement.

Nous laissons de côté, dans le calcul, les locomotives tout à fait neuves, qui ne sont pas affectées au service des trains sur les lignes que nous prenons en considération.

Quant au parcours des locomotives pour chaque voyage, en examinant les lignes italiennes, on trouve que 30 p. 100 d'entre elles ont une longueur inférieure à 50 km : 17 p. 100, une longueur comprise entre 51 et 75 km ; et 25 p. 100 entre 76 et 100 km, c'est-à-dire que 75 p. 100 ne dépassent pas 100 km; pour les autres, ces longueurs oscillent entre 100 et et 150 km (17 p. 100) et 7 p. 100 seulement dépassent 150 km. Les vitesses admises sur 70 p. 100 des lignes ne dépassent pas 55 km pour les trains de voyageurs à grande vitesse; sur quelques lignes seulement courent des trains express à 85 km : h; mais ces trains sont une exception, et n'atteignent pas 1 p. 100 du nombre des trains en marche. La vitesse ordinaire, y compris les trains de marchandises, s'étend rarement au delà de 30 km : h.

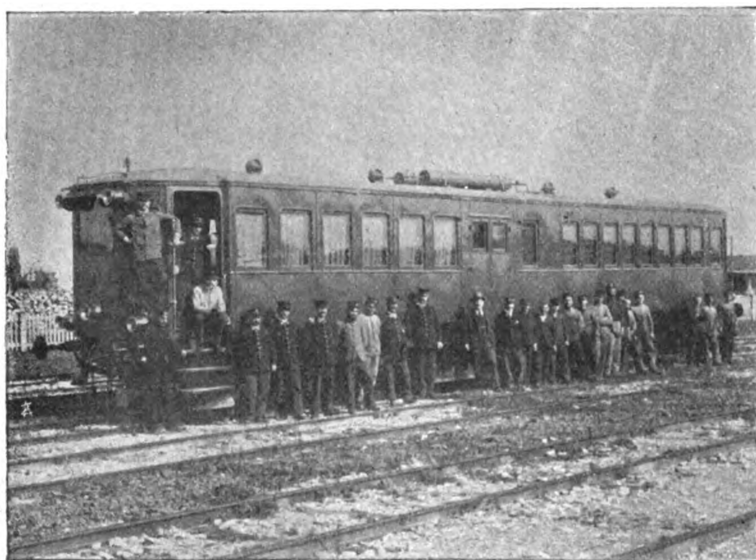


Fig. 16.— Vue d'une automotrice avec accumulateurs Majert entourée de tout le personnel affecté aux lignes électriques.

En partant de ces données, nous devons vérifier s'il est possible de construire une locomotive à accumulateurs de la puissance de 550 chevaux indiqués, ou bien possédant une batterie de 550 chevaux (ce qui conduit à admettre que le rendement du moteur à vapeur est égal à celui du moteur électrique), capable d'un effort de traction maxima de 5 000 kg, pouvant atteindre la vitesse de 80 km : h., parcourant 70 à 100 km au moins, avec une seule charge, et enfin du poids de 150 kg par cheval à l'essieu. Comme sur ce poids il faut réserver environ 50 kg par cheval pour la voiture et les moteurs, il resterait à la disposition des batteries un poids de 100 kg par cheval, pour se trouver dans des conditions égales avec la locomotive à vapeur. Commençons par voir si ces 100 kg suffisent aux batteries qui nous sont nécessaires. Or, avec les élémnets Majert (fig. 16), également en essai sur les automotrices de la Bologna-San Felice, on peut atteindre les données ci-dessous en comparaison avec l'élément type.

CAPACITÉ EFFECTIVE par kilowatt-heure.	PUISSANCE EFFECTIVE par cheval.	DURÉE DÉCHARGE heures.	POIDS PAR KW.-H.	POIDS PAR CHEVAL effectif à l'essieu en kg.
1	1	1	80	80
1,34	0,67	2	60	120
1,50	0,50	3	53,2	160
1,70	0,34	4	47	235

Nous relevons de cette table que le poids de la batterie ne dépasse pas 80 kg par cheval effectif à l'essieu en considérant la capacité de 1 kilowatt-heure à la décharge en

une heure qui est le maximum compatible avec le bon fonctionnement de la batterie.

En considérant enfin que le rendement des moteurs pour la traction oscille entre 75 et 80 p. 100, nous pouvons admettre qu'un cheval effectif à la jante correspond à 1 kilowatt de décharge de la batterie ; en tenant compte de toutes les données précédentes, nous pouvons établir la comparaison entre la locomotive à vapeur et celle des accumulateurs étudiée ici :

	Locomotive à vapeur (¹).	Locomotive électrique.
Poids total sur les roues	30 tonnes	50 tonnes
Effort de traction maximum (petite vitesse)	5300 kg	5300 kg
Puissance en chevaux effectifs au crochet.	500	600
Poids en service par cheval effectif.	150 kg	130 kg
Puissance de la batterie.		600 kw
Capacité de la batterie, décharge 1 heure.		600 kw-h
» » 2 »		804 »
» » 3 »		900 »
Poids total de la locomotive.	70 tonnes	80 tonnes

Cette table nous donne les termes de comparaison entre la locomotive à vapeur et celle à accumulateurs, mais nous ne nous sommes pas occupés jusqu'à présent du parcours. A ce sujet, il faut noter que dans les locomotives, à moins de fortes déclivités continues, la puissance moyenne est très inférieure à la puissance maxima, c'est-à-dire une locomotive de 550 chevaux développe normalement au plus 200 chevaux, excepté dans les démarrages ; or, puisque la capacité effective est déterminée précisément par la puissance moyenne, il en résulte qu'une batterie calculée pour une puissance donnée maxima, aura par cela même une capacité qui lui permettra d'effectuer sans besoin de recharge un parcours bien supérieur au minimum théorique et plus en rapport avec les besoins de la pratique.

Pour cette raison, la valeur de consommation moyenne d'énergie par tonne : km acquiert une grande importance, car la proportion entre la capacité de la batterie et ladite consommation donne le nombre de tonnes : km pouvant s'effectuer avec une décharge de la batterie.

A la suite des essais accomplis sur les lignes Bologna-Modena, Bologna-San Felice et Bologna-Ferrara, on peut exactement apprécier la consommation d'énergie par tonne : km des voitures électriques.

Sur la Bologna-San Felice il y a 43 km de parcours, dont 13 en marche horizontale, et 30 avec des déclivités et contre déclivités de 5 p. 1000.

Suivant les formules ordinaires, qui se rencontrent dans tous les manuels de traction par lesquelles les batteries ont été calculées, on devrait avoir une consommation moyenne d'énergie de 106 kilowatts-heure.

Pendant deux années d'exploitation, au contraire, en calculant chaque fois l'énergie totale dépensée pour un voyage entier, et en la divisant par le nombre de tonnes-kilomètre parcourues dans ledit voyage, il en est résulté une moyenne de 45-50 kilowatts-heure, correspondant à 10-11 watts-heure par tonne-kilomètre pour la vitesse commerciale de 35 km, et 14-17 watts-heure pour une vitesse de 60 km à l'heure, en comprenant dans les chiffres susdits même 26 démarrages. Ces résultats ont été relevés aussi sur la Bologna-Modena et sur la Bologna-Ferrara avec automotrice remorquant une ou deux voitures et dans des conditions très variables pour l'effort de traction, c'est-à-dire aussi bien en hiver qu'en été,

(¹) Ces valeurs sont tirées en prenant une moyenne entre les différents types en usage en Italie. Dans les poids de la locomotive à vapeur il a été compris le poids du *tender* chargé, pour se placer dans les mêmes conditions.

soit par le vent ou par la neige. Les essais entrepris en Allemagne dans le Pfalz et dans le Wurtemberg, tout aussi bien que ceux accomplis sur la voiture à accumulateurs de la ligne Milano-Monza de la Rete Mediterranea, donnent des valeurs presque identiques.

Quant au poids de remorque avec la locomotive, on relève que pour tous les trajets

Fig. 17. — Châssis de suspension d'une caisse d'accumulateurs.

en palier la puissance de 600 chevaux suffit pour remorquer des trains de plus de 600 tonnes à grande vitesse.

Dans les sections à fortes déclivités, les limites maxima sont les suivantes :

Déclivité 15 p. 1 000.	Poids du train 250 tonnes.	Vitesse 40 kilomètres-heure
» 20 »	» 250 »	» 35 »
» 25 »	» 250 »	» 25 »
» 30 »	» 250 »	» 20 »

Comme la locomotive a un poids de 80 tonnes, il reste pour le train à remorquer 170 tonnes. Une locomotive à vapeur ne laisse pas une aussi grande disponibilité ; sur les parcours dépassant 25 par mille, la triple traction est prescrite, c'est-à-dire qu'on admet un poids total de locomotives souvent supérieur à celui du train à remorquer.

Ainsi tombe cette affirmation erronée que les locomotives à accumulateurs ne peuvent pas servir pratiquement sur les lignes à fortes déclivités. Il faut enfin réfléchir que la préoccupation du pouvoir adhérent disparaît quand on songe que tous les essieux peuvent devenir moteurs, et peuvent être chargés au maximum. De ce côté la locomotive à accumulateurs ne craint pas de rivaux.

Afin de compléter la démonstration de notre thèse, il nous reste à prouver de

quelle manière la transformation projetée peut donner la possibilité d'un avantage économique.

La composition moyenne des trains italiens, sur les trois grands réseaux, est de 200 tonnes. Le coût de traction par kilomètre de ce train est, selon les plus récentes statistiques, de :

Combustibles	0,543	fr.
Eau	0,009	»
Transport des combustibles	0,042	»
Lubrification et nettoyage des locomotives	0,014	»
Renouvellement des partie mécaniques de la locomotive	0,238	»
Petit et grand entretien	0,354	»
Total du coût du train : km	1,200	fr.

De ce que nous avons dit plus haut, on peut donc largement admettre qu'un train kilomètre consomme 4 kilowatts à l'heure en moyenne, et nous arrivons à une consommation double de celle se vérifiant sur la Bologna-San Felice.

En supposant le coût annuel du kilowatt de 180 fr, coût déjà supérieur à celui qui se paye partout, et que l'on peut obtenir même par les installations fixes à charbon, pourvu que la capacité de la station génératrice soit de 500 chevaux au moins, en tenant compte du rendement de la batterie, et du nombre des heures du fonctionnement journalier de la station, on pourra en déduire le prix de 0,05 fr pour le kilowatt-heure et partant le coût de l'énergie nécessaire à chaque train-kilomètre sera de 0,20 fr. Dans ce prix sont compris l'intérêt et l'amortissement du capital employé dans l'installation génératrice de charge. On peut considérer en moyenne que les plaques du type Planté doivent être rechangées après 400 décharges, et partant pour chaque train-kilomètre on consomme 0,280 kg de plaques positives, ce qui représente 0,20 fr environ. Les plaques négatives ont une durée presque double de celles positives, et leur coût de rechange est de 0,12 fr.

L'entretien total de la batterie pour le train-kilomètre pourra être estimé à 0,36 fr avec les frais de renouvellement d'acides, récipients, connexions, séparateurs, etc.

En nous basant sur l'essai de la Bologna-San Felice, dans lequel on doit en outre tenir compte que l'automotrice est en elle-même beaucoup plus délicate et sujette aux avaries que la locomotive actuellement en étude, que son entretien en est plus coûteux, le prix effectif de la traction à accumulateurs peut se répartir pour le train-kilomètre en :

Energie	0,200	fr.
Rechange des plaques	0,360	»
Personnel d'entretien	0,120	»
Personnel de dépôt et lubrification	0,100	»
Entretien des parties électriques	0,036	»
Renouvellement des parties électriques de la loc	0,040	»
Coût total de traction par train km	0,856	fr.

Un dernier argument, et le plus important peut-être, est celui qu'en employant les accumulateurs, il n'est pas nécessaire de constituer un capital d'installation, puisqu'on peut transformer les locomotives à vapeur en locomotives électriques au fur et à mesure qu'elles doivent être renouvelées.

Les stations de charge représentent une quote-part de frais initial de 50 000 fr en plus pour chaque locomotive. Grâce aux faibles travaux de nettoyage et d'entretien, ou encore grâce à la disposition adoptée qui rend les accumulateurs amovibles de la voiture portant les moteurs, on peut atteindre avec la locomotive électrique une utilisation double, voire

....

même triple de celle de la locomotive à vapeur; il en résulte que, dès le début, l'installation de la station de charge vient à se trouver payée à moitié. Donc le problème de la recherche de capital sera simplifié, et on peut même dire qu'il ne faut presque plus de nouveau capital.

Après les systèmes à trois rails et à fil aérien, au contraire, le capital d'installation est très élevé, et surtout avec l'idée d'effectuer le service par des automotrices; il faudrait changer tout le matériel roulant, ce qui occasionnerait des frais immenses. D'autre part, en ne pouvant pas toujours effectuer le service des marchandises par les systèmes de traction à prise de courant sur la ligne, il en résulte toujours que — pour certaines lignes — la solution la plus économique et la plus immédiate sera donnée toujours par les locomotiues à accumulateurs du moment que, en se basant sur les essais accomplis, elle se prouve pratiquement et convenablement réalisable.

Comme cas particulier, au lieu des locomotives à accumulateurs pour le service des voyageurs, pour un train ne dépassant pas 140 tonnes, on pourrait recourir aux automotrices, mais, non pas à notre avis, aux automotrices telles qu'elles ont été construites, jusqu'ici; la véritable solution consisterait à munir des moteurs électriques et des combinateurs les voitures de tête des trains locaux en plaçant les batteries dans des voitures-tender traînées en remorque.

On obtiendrait par ce moyen l'économie maxima dans le poids et dans le coût du matériel, dans les frais de service et de manutention.

Enrico BIGNAMI.

RECHERCHES

SUR L'ARC ALTERNATIF DE TRÈS FAIBLE INTENSITÉ

JAILLISSANT ENTRE ÉLECTRODES MÉTALLIQUES (1)

III. — Résultats des expériences dans l'azote

Dans ces expériences la cloche qui renfermait les électrodes était mise en communication avec une bonbonne contenant de l'azote comprimé, fourni par la Sauerstoff-Fabrik, Berlin-Tegel. La fabrique indiquait une pureté de 99 p. 100 Az. Les impuretés consistaient, selon toute probabilité, en oxygène et en argon.

Après avoir fait le vide dans la cloche au moyen d'une machine pneumatique à deux corps de pompe, on introduisait l'azote, jusqu'à ce que la pression dans la cloche fût d'une atmosphère. Mais comme on ne parvenait pas à faire un vide complet au moyen de cette machine pneumatique, la composition du gaz dans la cloche était d'après le calcul 96,5 p. 100 d'azote et de 3,5 p. 100 d'oxygène au minimum, si l'on suppose l'étanchéité parfaite, ce qui paraît douteux.

Les diamètres des électrodes étaient les mêmes que pour les recherches précédentes dans l'air sec, mais nous avons utilisé d'autres électrodes; celles qui avaient déjà servi pour les expériences dans l'air ayant leur surface souvent très altérée.

---

(1) Voir le commencement de cet article dans *L'Éclairage Électrique* du 28 février, t. XXXIV, p. 306. Rappelons qu'un erratum relatif au tableau 10 (p. 318) a été donné dans le numéro du 14 mars 1903, p. 419. Ajoutons que la figure 18 reproduite plus loin se rapporte aux expériences dans l'air sec dont il a été question page 317.

Les résultats ont été les suivants :

TABLEAU N° 11 (¹)

DISTANCE	0,02	0,03	0,04	DISTANCE	0,02	0,03	0,04
0,54	•	•	•	3,6	900	750	700
1,1	•	•	•	4,5	1 000	850	780
1,6	•	•	•	5,7	1 120	980	900
2,1	705	590	525	7,45	1 375	1 140	1 050
2,6	750	625	575				

1. *Cuivre*. (Fig. 19). Tabl. 11. — Les droites qui représentent la relation entre la distance et le voltage, sont plus basses pour la même intensité de courant que pour les expériences dans l'air sec. La zone critique était encore observable, mais tandis que dans l'air sec elle commence déjà à 3 mm de distance, avec l'azote elle ne commence qu'à 2 mm de distance; toutes les autres conditions restant les mêmes.

Les recherches relatives à la limite supérieure de la zone normale, c'est-à-dire au commencement de la zone d'instabilité des longs arcs, ne furent pas effectuées avec l'azote.

Après l'expérience, les électrodes étaient couvertes d'une légère couche noire; preuve de la présence dans le gaz d'une certaine quantité d'oxygène.

TABLEAU N° 12

DISTANCE	0,02	0,03	0,04	DISTANCE	0,02	0,03	0,04
1,0	•	•	•	4,1	980	800	720
2,0	•	•	•	5,4	1 125	900	810
2,6	750	650	600	7,0	1 320	1 080	950

2. *Argent*. (Fig. 20). Tabl. 12. — Avec l'argent les valeurs du voltage sont également inférieures à celles qu'on obtient dans l'air sec pour la même intensité de courant et pour la même distance des électrodes. La zone critique apparait aussi pour des distances plus petites. Pour l'air, elle commence à 3 mm ($J = 0{,}04$) ; pour l'azote elle ne commence qu'à 2,6 mm.

TABLEAU N° 13

DISTANCE	0,03	0,04
0,5	•	•
1,5	770	625
2,0	800	700
3,5	980	820
5,1	1 150	980
6,2		1 050

TABLEAU N° 14

DISTANCE	0,03	0,04	0,05
0,5	•	•	•
1,5	•	•	•
1,15	• 1 000	• 800	• 650
1,8	800	690	600
3,15	1 000	890	800
4,0	1 150	1 000	900
5,3			1 050

(¹) Les astérisques indiquent la zone critique.

3. *Platine*. (Fig. 21). Tabl. 13. — Les valeurs du voltage sont également inférieures à celles pour l'air sec. La zone critique est plus courte que dans l'air.

4. *Aluminium*. (Fig. 22). Tabl. 14. — Tandis que l'emploi de l'aluminium comme électrodes dans l'air sec ne permettait jamais la formation d'un arc stable et qu'il était à peu près impossible de faire des lectures précises au voltmètre, dans l'azote on obtenait une stabilité beaucoup plus grande.

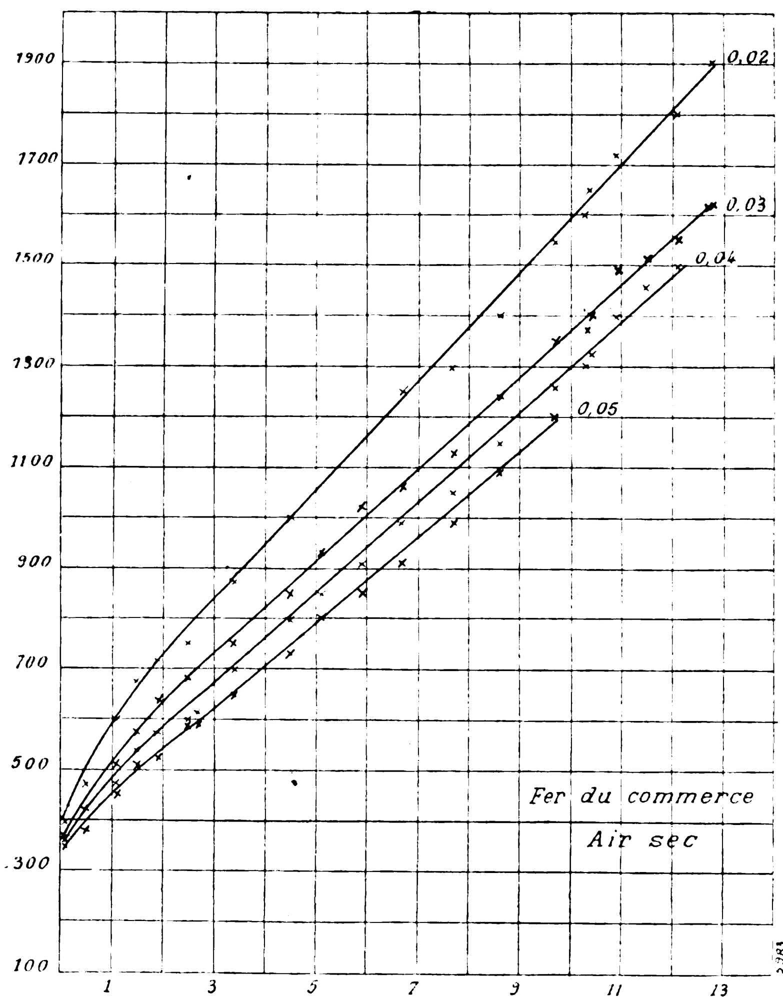


Fig. 18.

Pour l'air sec la zone critique commençait à 3,1 mm ; dans l'azote elle n'apparaît qu'à 1,8 mm. Les valeurs du voltage qu'on pouvait aisément lire, sont pour la même distance et le même courant, inférieures à celles obtenues dans l'air sec ; ces dernières n'étaient d'ailleurs, avons-nous dit, que des moyennes par suite de l'instabilité de l'arc.

En outre, les phénomènes d'élévation de voltage qui caractérisent la zone critique, sont avec ce métal dans l'azote, beaucoup moins accentués, que pour le Pt, Ag, Cu. A une distance de 1,1 mm on pouvait encore lire le voltmètre ; et les étincelles ne se produisaient pas à l'intérieur de l'instrument, bien qu'il accusât une notable élévation de voltage.

Les électrodes se sont aussi couvertes d'une couche grise assez épaisse (probablement d'oxyde), mais cette couche, si on la regarde sous le microscope, est moins rugueuse que celle qui se forme sur les électrodes, lorsqu'elles ont fonctionné dans les mêmes conditions dans l'air sec. La couleur de cette couche est un peu plus jaune qu'en expérimentant dans l'air sec ; peut-être y a-t-il une formation partielle d'azoture, ainsi que M. Arons l'a constaté.

On sait que M. Arons a effectué déjà des recherches sur l'arc entre des électrodes métalliques à *faible tension* dans une atmosphère d'azote [1] et il trouva que, pour le même courant et la même distance des électrodes, le voltage pour chaque métal, dans l'azote, est plus petit que dans l'air, ce que confirment également nos recherches à faible intensité.

[1] Arons. *Drudes Ann.*, t. I, p. 700, 1900.

M. Arons mentionne néanmoins comme seule exception le cuivre, qui nécessite dans l'azote une valeur plus élevée du voltage que dans l'air. Nous n'avons pu constater cette exception pour les faibles intensités ; cela tient probablement au fait qu'avec les faibles

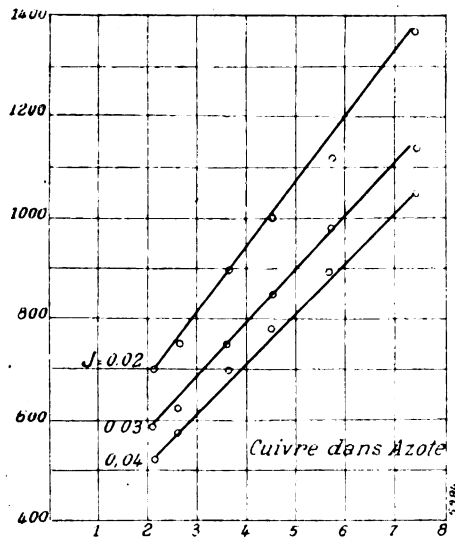


Fig. 19.

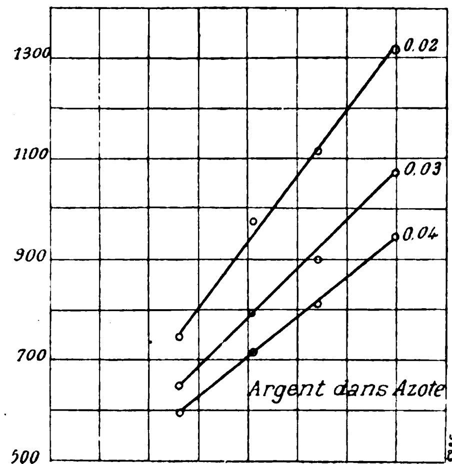


Fig. 20.

intensités les voltages nécessaires pour maintenir l'arc sont assez considérables pour masquer de petites variations en valeur absolue, qui deviennent alors de l'ordre de grandeur des erreurs d'expérience. M. Arons avait aussi démontré par l'analyse chimique la formation d'azotures dans une atmosphère d'azote, mais seulement avec le magnésium et l'aluminium.

Par l'analyse chimique de la couche qui s'était formée sur les électrodes en aluminium

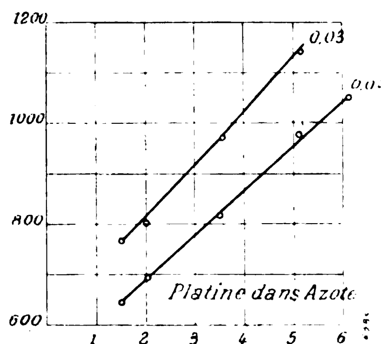


Fig. 21.

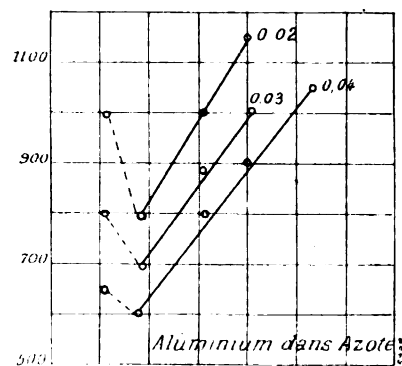


Fig. 22.

dans nos expériences (96,5 p. 100 d'azote environ), nous n'avons pas constaté la formation d'azotures. L'azote que M. Arons employait était probablement beaucoup plus pur. C'est pourquoi les altérations produites à la surface des électrodes dans nos expériences semblent encore dues à la présence de l'oxygène. Pour les autres métaux, tels que le cuivre et le platine, M. Arons n'avait pas constaté la formation d'azotures. Quant à l'argent, il ne réussit pas à établir l'arc dans une atmosphère d'azote, pas même en cherchant à l'amorcer, par un flux d'étincelles jaillissant entre les électrodes.

Comme le montre le tableau 12, l'argent, dans nos recherches, s'est comporté comme les autres métaux. Il serait très intéressant de rechercher si l'argent, dans une atmosphère d'azote absolument pure, resterait absolument réfractaire à la formation d'un arc, même en utilisant les tensions relativement élevées dont nous disposions.

En résumé, ces expériences ont confirmé pour les arcs de faible intensité une partie des résultats mentionnés par M. Arons pour les arcs d'intensité moyenne.

Malgré l'incertitude que l'oxygène restant a apporté à ces expériences, nous avons cru bien faire d'en publier les résultats, attendu qu'il n'existe pas à notre connaissance de recherches étendues à ce sujet pour les arcs de faible intensité. Une étude plus minutieuse des conditions de fonctionnement de l'arc à haute tension dans une atmosphère absolument dépourvue d'oxygène serait néanmoins digne d'intérêt.

IV. — Nature de l'arc dans la zone critique

Quelques considérations sur la nature et l'apparence de l'arc dans la zone critique ne seront sans doute pas inutiles et compléteront cette étude.

Voyons d'abord cette apparence dans l'air sec.

Un premier fait est que l'auréole semble avoir entièrement disparu ; d'autres fois elle est seulement très amincie. La partie lumineuse de l'arc est plutôt cylindrique. La figure 23 représente cette apparence entre des électrodes de cuivre, à une distance de 2 mm pour une intensité de 0,04 ampère dans l'air sec ; cette apparence est accompagnée de tous les phénomènes qui caractérisent la zone critique ; changement de son, étincelles dans le voltmètre si l'on branche l'instrument aux bornes de l'arc.

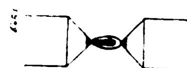


Fig. 23.

Comme nous l'avons vu précédemment l'existence de cette zone critique aux courtes distances et aux faibles intensités est un fait dont la généralité a été constatée pour tous les métaux à l'exception du fer du commerce.

Les résultats relatifs à ce métal ont été indiqués dans le tableau 9 (*Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 317), et nous reproduisons figure 18 les courbes qui les résument.

Il importe de remarquer également que l'élévation de voltage dans la zone critique n'était pas accentuée au même dégré pour tous les métaux. C'est ainsi que pour le Mg et le Cd, tout en constatant une élévation subite de voltage aux petites distances (voir courbes précédentes), avec changements dans la nature et l'apparence de l'arc, on n'avait pas production d'étincelles au voltmètre, comme pour d'autres métaux.

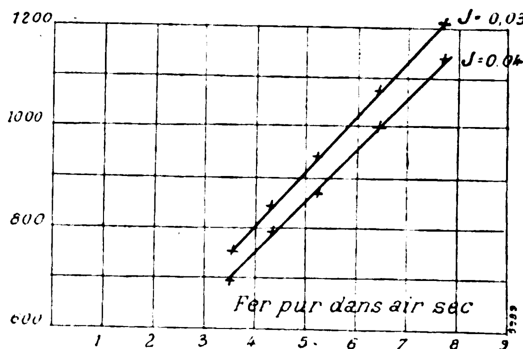


Fig. 24.

Peut-être la grande volatilité de ces métaux est-elle en partie la cause de cette différence ? Il est possible qu'en opérant avec des intensités plus faibles, ces phénomènes reprendraient toute leur netteté.

Une première question à élucider était de rechercher si cette apparente anomalie du fer du commerce est bien une propriété du fer ou si elle est due à la présence de corps étrangers tels que le carbone.

Si cette anomalie avait été une propriété du fer, on aurait pu s'attendre à la retrouver pour le nickel, qui chimiquement en est un proche parent. Tel n'a pas été le cas.

Nous avons donc répété les expériences en employant des électrodes de forme identique, mais en fer chimiquement pur fourni par la maison de Haen, à Hannover. Les résultats des mesures dans l'air sec sont représentés par la figure 24 et le tableau 15.

TABLEAU N° 15. — *Fer pur (air sec).*

DISTANCE	0,03	0,04	DISTANCE	0,03	0,04
0,5	.	.	4,3	840	790
1,0	.	.	5,2	940	870
1,5	.	.	6,45	1 075	1 000
2,0	.	.	7,7	1 210	1 140
2,5	.	.	8,15	.	.
3,0	.	.	9,0	.	.
3,5	750	700	.	.	.

On voit donc que pour le fer chimiquement pur, la zone critique est aussi nettement marquée que pour le nickel et le cuivre. On pourrait en conclure que la présence du carbone est bien la cause de cette anomalie apparente.

Pour en avoir la preuve, nous avons effectué d'autre part des expériences en employant des électrodes de charbon homogène, d'un diamètre de 4 mm (air sec). Comme les charbons s'usent vite, la distance des électrodes ne reste pas constante pendant la durée d'une expérience, elle augmente naturellement par l'usure des pointes. Pour pouvoir déterminer cette distance aussi exactement que possible il convient d'abord de laisser l'arc se former et d'attendre qu'il soit devenu stable. C'est alors que la lecture était faite au voltmètre, et immédiatement après le courant était interrompu. La distance finale des électrodes était donc déterminée sur la machine à diviser et devait, par conséquent, correspondre à la lecture du voltage.

Les résultats pour le charbon homogène sont représentés figure 25, tableau 16 (air sec).

TABLEAU N° 16. — *(Air sec).*

DISTANCE	0,02	0,03	DISTANCE	0,02	0,03
0,17	260	215	2,8	730	550
0,28	310	260	3,0	800	570
0,5	365	280	4,0	900	680
0,85	440	330	3,5	850	650
1,65	575	430	4,8	990	750
2,15	625	.	5,2	1 000	800
2,6	700	.	6,2	1 100	900
2,4	650	.	7,5	.	.

Contrairement à ce que l'on observe pour tous les métaux purs, le passage de la zone normale à la zone critique, caractérisé par le son crépitant de l'arc et la production d'étincelles dans le voltmètre, n'a pas été observé avec le charbon.

Au contraire il semblait y avoir un phénomène inverse à partir de 3 mm ; si l'on dimi-

nuait la distance, le voltage semblait décroître rapidement comme pour le fer impur. Dans la série d'observations, faite avec un courant de 0,03 ampère, cette déviation est si petite, qu'on est tenté de l'attribuer plutôt aux erreurs de lecture. Mais pour l'intensité de 0,02 ampère (qui dans les expériences avec électrodes métalliques était toujours la plus sensible pour déceler le passage d'une zone à l'autre), les différences entre les points observés et la ligne ponctuée sont trop grandes pour pouvoir être considérées comme erreurs d'expériences.

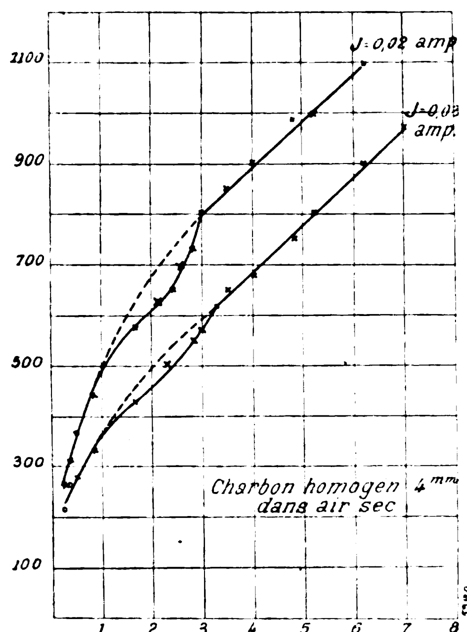


Fig. 25.

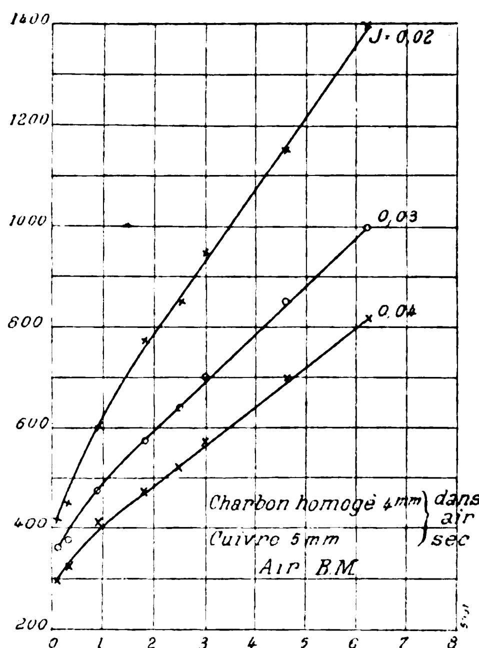


Fig. 26.

D'ailleurs ce phénomène a déjà été observé pour le charbon, mais avec des courants beaucoup plus intenses, par M. Voigt [1] qui a analysé une série de courbes obtenues par Mme Ayrton.

Un autre argument qui montre bien le rôle du charbon est fourni par le fait suivant que nous avons vérifié expérimentalement.

Il n'existe pas de zone critique pour un arc jaillissant entre deux électrodes, une métallique, l'autre en charbon.

Les expériences relatives à ce point sont représentées dans la figure 26 et le tableau 17.

Tableau n° 17. — *Cuivre-charbon* (*air sec*).

DISTANCE	0,02	0,03	0,04	DISTANCE	0,02	0,03	0,04
0,1	420	360	300	2,5	850	640	525
0,3	450	375	325	3,0	950	700	575
0,9	600	475	410	4,6	1 150	850	700
1,8	775	575	475	6,2	1 400	1 000	820

(1) Voigt. *Der elektrische Lichtbogen*, p. 22, 1896. Stuttgart. Voir aussi *The Electric Arc*, by Mrs. Hertha Ayrton. London, p. 139 et 140.

L'explication de l'existence de cette zone critique d'élévation subite de voltage et de changement dans la nature de l'arc ne nous paraît pas complètement élucidée.

D'une part le fait que cette zone diminue d'étendue pour tous les métaux, lorsque l'on supprime la presque totalité de l'oxygène, semble indiquer que les réactions dues à l'oxydation des électrodes sont pour quelque chose dans ce phénomène. Il présenterait ainsi quelque analogie avec le phénomène de l'arc sifflant que l'on observe comme on sait entre les charbons pour les arcs très courts, et qui, d'après les recherches de Mme Ayrton, cesse totalement dans une atmosphère d'azote pur.

Cependant la zone critique présente des différences essentielles avec l'arc sifflant. D'abord ces élévations de voltage excessives donnent lieu à des étincelles dans les voltmètres. Ces phénomènes semblent indiquer des interruptions brusques du courant accompagnées de phénomènes d'induction très énergiques et d'oscillations ; comme nous en avons eu la preuve subséquente ([1]).

Pourquoi ces interruptions ne se produisent-elles qu'aux courtes distances ? C'est là un point auquel nous ne croyons devoir répondre qu'après avoir effectué des expériences dans une atmosphère absolument dépourvue d'oxygène.

Mais ce qui paraît incontestable c'est le caractère intermittent de l'arc dans cette zone. L'observation au miroir tournant le montre d'ailleurs nettement, et l'on peut se demander si la haute conductibilité des vapeurs métalliques donne alors à la résistance une valeur suffisamment faible pour satisfaire aux conditions de la décharge oscillante, la capacité des électrodes et des instruments de mesure entrant alors en considération.

Observations au miroir tournant. — Dans la zone normale (distance des électrodes 5 mm cuivre), si la *vitesse angulaire du miroir est faible*, on remarque à chaque demi-période un maximum d'intensité lumineuse. De part et d'autre s'étend un espace sombre, au milieu duquel on aperçoit comme une étoile blanc-bleuâtre, qui n'est autre que l'étincelle qui rallume l'arc, après chaque extinction.

Tandis que si l'on regarde, toujours à la même vitesse du miroir, l'arc entre charbons homogènes, on n'aperçoit plus les étincelles d'allumage, séparant les demi-périodes, mais seulement un maximum lumineux, qui décroît de part et d'autre vers les extrémités de la demi-période; l'étoile brillante correspondant à l'étincelle d'allumage fait complètement défaut ([2]).

([1]) Des discontinuités ont déjà été signalées par différents expérimentateurs, dans la décharge de l'arc, *mais seulement pour des arcs alimentés par des courants continus*.

En 1887, M. Lecher (*Sitzungsberichte der K. Akademie Wien.*, t. XCV, II a, p. 1 007, 1887) a constaté l'existence de cette discontinuité pour l'arc entre électrodes de platine ou de fer, tandis qu'il ne put rien observer de semblable pour le charbon, l'argent et le cuivre. Il suppose que pour ces deux derniers métaux les décharges disruptives se succèdent avec une telle rapidité, qu'il devient impossible de les constater; la méthode d'observation n'étant plus assez sensible.

D'autre part, en 1896, M. Arons a également constaté la discontinuité de la décharge de l'arc à courant continu, jaillissant entre des électrodes de mercure.

En 1896. M. Freedmann (*Éclair. Électr.*, t. IV, p. 601, 1896) semble avoir observé un phénomène analogue à celui de la zone critique pour l'arc à courant continu. Malheureusement, il ne donne pas de détails sur l'expérience. Il dit : « Si l'on maintient un arc voltaïque entre deux électrodes en cuivre et qu'on réduise graduellement le courant, on obtient bientôt une sorte de point critique. La nature de l'arc change et l'apparence de la flamme est très voisine de celle que présente la décharge d'une machine de Holtz sans condensateur. »

([2]) D'ailleurs en 1868, MM. Jamin et Roger (*C. R.*, t. LXVI, p. 37, 1868) avaient observé l'arc entre charbons au miroir tournant. Ils observaient bien à chaque demi-période des accroissements d'intensité lumineuse, mais ils n'ont pas observé non plus pour le charbon de complètes extinctions de lumière ou des étincelles appréciables dans les minima de lumière.

Nos observations au miroir tournant confirment pour les arcs de faible intensité les observations de M. Blondel sur le charbon et de M. Zuchristian et de M. Arons sur les électrodes en métal.

En augmentant sensiblement la vitesse angulaire du miroir, on n'apercevait plus dans le champ du miroir, qu'une demi-période, mais à une beaucoup plus grande échelle que précédemment.

On pouvait alors mieux distinguer les variations de l'intensité lumineuse qui dépendent naturellement de l'intensité variable du courant.

Les résultats ont été les suivants :

Pour les électrodes de cuivre (distance des électrodes 6 mm zone normale) on voyait un maximum lumineux au milieu de la demi-période, l'intensité lumineuse décroissant de part et d'autre. Mais si l'on modifiait la distance des électrodes de 6 mm à 2 mm (l'arc se trouvant dans la zone critique) l'apparence était alors tout autre qu'à vitesse moindre. Au lieu d'un maximum lumineux, on apercevait sur toute l'étendue de la demi-période une succession d'intervalles lumineux et obscurs, preuve évidente que le fonctionnement dans la zone critique correspond bien à une série de décharges.

Si l'on substituait alors aux électrodes de cuivre des électrodes de charbon ou de fer du commerce placées à la même distance de 2 mm, l'on ne pouvait plus alors observer ces décharges disruptives. On voyait comme pour le cuivre à la distance de 6 mm un maximum lumineux au milieu, décroissant de part et d'autre vers les extrémités de la demi-période.

Il aurait été très intéressant de fixer ces différentes apparences sur une plaque photographique. Mais comme ces arcs de faible intensité sont très peu lumineux, nous n'avons pas réussi avec l'appareil photographique, dont nous disposions, à recevoir une impression sur la plaque ; la durée d'exposition aurait dû être naturellement très inférieure à un centième de seconde, la fréquence du courant employé étant approximativement 50.

Un procédé tout différent nous a permis également de constater la nature oscillatoire des décharges disruptives dans la zone critique, c'est l'emploi des cohéreurs. Nous avons, à cet effet, utilisé un électroradiophone de M. Tommasina. Cet électroradiophone se compose, comme on sait, d'un cohéreur-auto-décohérent [1] intercalé dans un circuit fermé contenant un téléphone et une pile.

Si cette série d'étincelles disruptives qu'on aperçoit dans le miroir tournant pour l'arc entre des électrodes de cuivre, à la zone critique, correspond à des décharges oscillantes, le téléphone doit rendre continuellement un son lorsque l'arc est dans la zone critique.

Au contraire il doit rester muet, si l'arc brûle entre des électrodes de fer, qui contiennent du charbon ou entre des électrodes de charbon.

Dans une première série d'expériences l'électroradiophone se trouvait dans la même chambre que l'arc. La distance entre l'arc et l'électroradiophone était alors de 3,50 m.

Quant au son perçu (expérience n° 1), lorsqu'on mettait le courant, il est probablement dû à l'étincelle d'allumage de l'arc normal.

M. Blondel a en effet observé que l'arc qui se produit à chaque alternance n'est pas toujours accompagné de la cessation brusque du courant, surtout si le circuit est inductif et la mèche du charbon conductrice.

D'autre part, M. Zuchristian constatait que la conductibilité du milieu gazeux se perd beaucoup plus rapidement à chaque alternance, avec les électrodes métalliques et M. Arons arrivait à la conclusion qu'on ne peut maintenir l'arc entre électrodes métalliques que si la tension disponible aux électrodes est suffisante pour produire à chaque extinction une étincelle qui rallume l'arc.

(1) Tommasina, *C. R.*, CXXXI, p. 876-878, 1900. *Phys. Zeitsch.* I, p. 341-72, 1900 ; *Arch. Sciences* (4) IX, p. 402-112, 1900. *C. R.*, CXXX, p. 904-905, 1900. Le cohéreur décohérent, utilisé dans cette série d'observations était à contact charbon-bismuth : dispositif par lequel M. Tommasina est parvenu à augmenter la sensibilité de l'appareil, M. Tommasina a bien voulu assister lui-même aux expériences.

N°	ÉLECTRODES	DISTANCE des électrodes.	ZONE	OBSERVATIONS
1	Cuivre.	5 mm	normale	Au moment où l'on met le courant on entend un bruit unique, mais pendant que l'arc brûle, le téléphone reste muet.
2	Cuivre.	1,2 mm	critique	Bruits au téléphone pendant tout le temps que l'arc brûle.
3	Cuivre.	1,2 mm	»	Pas d'arc, pas de bruit.
4	Charbon homogène .	1,2 mm	»	Arc, pas de bruit.
5	Fer industriel. . . .	1,2 mm	»	Arc, pas de bruit.
6	Argent.	1,2 mm	critique	Arc, bruits continus.
7	Argent.	1,2 mm	»	Pas d'arc, pas de bruit.
8	Or	1,2 mm	critique	Bruits continus.
9	Or	1,2 mm	»	Pas d'arc, pas de bruit.

Le son dans l'électroradiophone était particulièrement accentué, lorsque l'arc brûlait entre les électrodes d'argent, il diminuait un peu pour le cuivre et était plus le faible pour l'or; néanmoins il était encore facilement perceptible pour l'or. Avec le charbon et le fer du commerce le téléphone restait muet.

Les mêmes expériences (1 à 9) furent répétées en plaçant l'électroradiophone à la distance de 5,00 m et même de 10 m, elles ont donné le même résultat.

Dans cette dernière série l'arc se trouvait dans une chambre et l'électroradiophone dans une autre ; les deux appareils étaient en outre séparés par un mur de 0,5 m et par une bibliothèque de 0,5 m de profondeur.

Il résulte de ces recherches que dans la zone critique les décharges disruptives, qui accompagnent l'arc à courant alternatif, entre électrodes métalliques, ont un caractère oscillatoire et que la présence du carbone semble supprimer ces décharges.

A en juger par l'ordre de grandeur des capacités et des self-inductions en jeu, il est à présumer que la fréquence des oscillations produites devait être de l'ordre des oscillations hertziennes.

Conclusions.

En terminant nous pouvons résumer comme suit les résultats expérimentaux de ce travail.

Dans un arc jaillissant entre électrodes métalliques (pures), alimenté par des courants alternatifs suffisamment faibles, on peut distinguer trois zones de fonctionnement : 1° la zone instable (arcs longs) ; 2° la zone normale ; 3° la zone critique (arcs courts).

1° La zone instable ne se prête guère à des recherches quantitatives ; nous nous sommes contenté, dans la plupart des cas, de déterminer dans les conditions de nos expériences la distance où elle commence pratiquement à se manifester.

2° Dans la zone normale, la relation qui unit le voltage efficace et la longueur de l'arc est linéaire. Ce résultat confirme donc pour les arcs de faible intensité les résultats antérieurs obtenus sur les arcs d'intensité moyenne, d'une part par Mme Ayrton pour l'arc à courant continu, entre charbons homogènes, et d'autre part par M. Heubach pour l'arc alternatif également entre charbons.

3° Lorsqu'on diminue suffisamment la distance des électrodes ou l'intensité du courant, on observe le phénomène de la zone critique, caractérisé par une série de décharges disrup-

tives, visibles au miroir tournant, agissant sur les cohéreurs et donnant lieu à des élévations subites de voltages.

Ce phénomène est général pour tous les métaux *purs* étudiés. Il ne se produit pas pour l'arc entre charbons ni pour l'arc entre électrodes en fer *du commerce* (renfermant probablement du carbone), ni lorsque l'une des électrodes est en charbon et l'autre métallique (arc cuivre charbon).

La présence de l'oxygène accentue les phénomènes qui caractérisent la zone critique et l'étendue de cette zone, peut être par suite des réactions dues à l'oxydation des électrodes.

4° Enfin il est intéressant de remarquer que la tension nécessaire pour le maintien de l'arc dans la zone normale (toutes conditions égales d'intensité et de longueur d'arc) est généralement plus grande pour les métaux dont le poids atômique est élevé. Toutefois les résultats obtenus dans l'air sec sont trop approximatifs et les corps étudiés trop peu nombreux pour qu'il soit permis de formuler dès maintenant une règle à ce sujet.

Ch.-Eug. Guye,
Professeur à l'Université de Genève.

Berthold Monasch,
Ingénieur diplômé.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Détermination rapide de la pureté du sel ammoniac destiné aux éléments galvaniques, par **G. Rosset**. *Centralblatt f. Accumulatoren, Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 25, 1er février 1903.

On sait que pour obtenir de bons résultats avec les éléments galvaniques au chlorure d'ammonium, il est nécessaire que ce sel ne renferme pas de trop grandes quantités de chlorure de sodium ou de sulfate d'ammonium.

La méthode d'essai rapide préconisée par l'auteur consiste à mesurer l'abaissement de température par la dissolution du sel et la densité de solutions de concentrations déterminées.

La densité des solutions de chlorure d'ammonium est relativement faible, comme celle de toutes les solutions salines qui sont obtenues avec forte absorption de chaleur. L'épreuve rapide consiste à mesurer d'abord la densité d'une solution saturée du sel ammoniac à 15° C. Si cette densité est supérieure à 1,0766 (10,25° B.), c'est que ce sel n'est pas pur. On reconnaît alors la présence de sulfate (d'ammonium en particulier) par la précipitation à l'aide du chlorure de baryum.

On fait ensuite une solution à la concentration utilisable, on observe l'abaissement de température, puis la densité quand la température est remontée à 15° C. L'abaissement de température survient en 0,5 à 0,75 minutes, aussi faut-il opérer rapidement. On peut négliger l'influence de la température extérieure; mais il importe d'introduire le sel et l'eau à la même température. Comme le montre le tableau suivant, la méthode est très sensible et permet de déceler la présence de petites quantités de chlorure de sodium.

Le coefficient indiqué est le quotient de l'abaissement en degrés par la masse de sel dissous en grammes.

L'essai de densité est également assez sensible, ainsi que l'indique le tableau de la page suivante.

Ces deux méthodes, qui se contrôlent, permettent d'obtenir la teneur en chlorure de sodium à 5 p. 100 près. Cette approximation suffit en pratique.

La falsification par addition de substances inactives se reconnaît à ce que le sel laisse une partie insoluble dans l'eau. L'addition des sels fixes se reconnaît également au résidu qu'on obtient après avoir sublimé le sel dans une capsule de porcelaine.

Le sel ammoniac doit être aussi blanc que possible; une teinte rouge jaunâtre indique la présence de sels de fer. On décèle d'ailleurs la pré-

Abaissement de température par la dissolution dans l'eau de mélanges de chlorures d'ammonium et de chlorure de sodium.

NOMBRE DE GRAMMES DE SEL DANS 250 CM³ H^2O.	25 GRAMMES		50 GRAMMES		75 GRAMMES	
PURETÉ DU SEL	ABAISSEMENT en degrés	COEFFICIENT	ABAISSEMENT en degrés	COEFFICIENT	ABAISSEMENT en degrés	COEFFICIENT
Chlorure d'ammonium pur	6	0,24	11,5	0,23	15	0,20
» » avec 5 p. 100 chlorure de sodium.	5,75	0,23		0,2225		0,195
» » » 10 » »	5,50	0,22	10,75	0,215	14,25	0,19
» » » 15 » »	5,25	0,21		0,2075		0,185
» » » 20 » »	5,0	0,20	10,0	0,20	13,50	0,180
» » » 25 » »	4,75	0,19		0,1925		0,175
Chlorure de sodium pur	1,50	0,060		0,058		0,050

Densités des mélanges de solutions de chlorure d'ammonium et de chlorure de sodium.

QUANTITÉ DE SEL DISSOUS EN GRAMMES DANS 250 CM³ H^2O	25 GRAMMES	50 GRAMMES	75 GRAMMES
PURETÉ DU SEL	Degrés Baumé	Degrés Baumé	Degrés Baumé
Chlorure d'ammonium, pur	4,33	7,25	9,50
» » avec 5 p. 100 de chlorure de sodium. .		7,75	10,00
» » » 10 » »	5,00	8,25	10,50
» » » 15 » »		8,75	11,00
» » » 20 » »	5,50	9,25	11,50
Chlorure de sodium, pur.	9,00		

sence de ces sels par la ferrocyanure de potassium qui donne une coloration bleue ou par l'ammoniaque qui donne un précipité jaune rougeâtre. La présence des sels de cuivre se reconnait à la coloration brune que donne le ferrocyanure de potassium. L. J.

DISTRIBUTION

Surélévations de potentiel pouvant survenir dans les longues transmissions par suite de la rupture ou de la fermeture du circuit, par **W. Blanck**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XXI, p. 6, 4 janvier 1903.

L'auteur se propose de donner un exemple numérique de la valeur que peut atteindre la tension sur un câble au moment de la rupture ou de la fermeture du circuit ; ce calcul a une importance pratique considérable, en ce sens qu'il peut nous renseigner sur la rigidité électrostatique maxima qu'on doit imposer au diélectrique entourant l'âme du câble. Soit donc un réseau de distribution à courants triphasés ; entre la génératrice et le récepteur la longueur d'un fil l est de 100 km ; sa section, 50 mm² ou son rayon $r = 0,4$ cm ; sa hauteur moyenne au-dessus du sol est $D = 8$ m. La self-inductance L et la capacité C par rapport à la terre sont données par les formules suivantes :

$$L = l\left[2 \operatorname{Log}_e \frac{2D}{r} - 1\right] \times 10^{-9} = 10\,000\,000 \left[2 \operatorname{Log}_e \frac{2 \times 800}{0,4} - 1\right] \times 10^{-9} = 0,156 \text{ henry pour 100 km};$$

$$C = k \frac{l}{2 \operatorname{Log}_e \frac{2D}{r}} \times 10^{-6} = 1 \times \frac{10\,000\,000}{2 \operatorname{Log}_e \frac{2 \times 800}{0,4}} \times 10^{-6} = 0,6 \text{ microfarad pour 100 km}.$$

Au moment de la rupture du courant sur l'une des phases, le conducteur absorbera une certaine quantité d'énergie égale à $\frac{LI^2}{2}$ et qui sera emmagasinée à l'état potentiel ; mais, d'autre

part, l'énergie du conducteur considéré comme un condensateur qui peut aussi être représentée par l'expression $\frac{CV^2}{2}$. En négligeant les pertes par effet Joule et les fuites, il y a sensiblement égalité entre ces deux expressions, c'est-à-dire que l'on a

$$\frac{LI^2}{2} = \frac{CV^2}{2}.$$

ou

$$I = V\sqrt{\frac{C}{L}} = VC\frac{1}{\sqrt{CL}}.$$

La fréquence fondamentale f de la ligne est égale à $\frac{1}{2\pi\sqrt{CL}}$;
d'où

$$I = 2\pi f.\ VC \text{ et } V = \frac{1}{2\pi f C}.$$

Or

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{0,156 \times 0,000\,000\,6}} = 580 \text{ et } C = 0,000\,000\,6.$$

En substituant à f et C leurs valeurs, on trouve que V = 510 I : la rupture du circuit produit un accroissement de tension égal à 510 fois l'intensité du courant. Exemple : le réseau considéré transmet 3 000 kilow. à la tension de 3 000 volts entre conducteurs ; calculons l'intensité maxima I_0 correspondante :

$$I_0 = \sqrt{2}\, I_{eff} = \frac{3\,000\,000\sqrt{2}}{30\,000\sqrt{3}} = 82,5 \text{ ampères};$$

et par suite

$$V = 82,5 \times 510 = 42\,000 \text{ volts}.$$

La différence de potentiel maxima entre les bornes de la génératrice et le centre de l'étoile mise à la terre est égale à

$$\frac{30\,000\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = 24\,500 \text{ volts}.$$

Par conséquent, dans le cas plus défavorable, c'est-à-dire, si on vient à ouvrir le circuit au moment où l'intensité et la tension passent par leur maximum, on aura une différence de potentiel par rapport à la terre égale à

$$42\,000 + 24\,500 = 66\,500 \text{ volts}.$$

En résumé, une ligne de 100 km avec les constantes indiquées ci-dessus devra être essayée au moins à une tension 4 fois plus grande que la tension normale, puisqu'on a :

$$4 \times \frac{30\,000}{\sqrt{3}} = 69\,300 \text{ volts}.$$

Nous sommes bien loin des tensions d'essais réglementaires, et nous nous en écarterons davantage si notre ligne de transmission est n fois 100 km, car alors on a

$$V = 510 \times n \times I.$$

B. K.

MESURES

Magnétomètres différentiels exempts de perturbation, par **H. du Bois**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 938-946, décembre 1902.

La force qu'on se propose de mesurer avec le magnétomètre est variable d'un point à l'autre, mais peut plus ou moins aisément se calculer en un point déterminé.

La force perturbatrice varie avec le temps, mais si la source de cette force est assez éloignée, son action est susceptible d'être représentée dans une première approximation par une composante horizontale uniforme, au moins à l'intérieur d'une certaine région.

Par suite, on peut s'affranchir de la cause perturbatrice, en disposant un magnétomètre auxiliaire dans un endroit où la force à mesurer est nulle et utilisant ses indications pour corriger celles du magnétomètre principal.

Il est possible également d'employer deux magnétomètres placés par rapport à l'aimant étudié NS, l'un dans la première position principale de Gauss, l'autre dans la seconde. Si la force perturbatrice a même grandeur et même direction dans les deux endroits, la déviation est proportionnelle au moment magnétique de l'aimant NS.

Il est impossible de réaliser un équipage rigoureusement astatique. Mais en mettant autour de l'aimant le plus fort un petit anneau de fer doux, on peut atténuer l'action sur cet aimant du champ perturbateur et la rendre égale à celle qui s'exerce sur l'autre aimant du couple astatique.

Le plus simple serait de placer l'aimant protégé dans un endroit où la force à mesurer est nulle. Seulement on serait obligé de donner

à l'équipage astatique une assez grande longueur, et il ne se trouverait plus en entier dans la région restreinte où la perturbation est uniforme.

On peut aussi placer l'aimant protégé en un point où l'action de l'aimant mesuré est verticale: l'autre aimant du couple astatique se trouvant en un point où l'action horizontale est maxima[1].

Ces dispositions ne sont efficaces d'ailleurs que si la source de perturbation est éloignée de plus de 10 m. M. L.

DIVERS

Mesure des pouvoirs inducteurs des corps cristallisés au moyen des ondes électriques dans les fils, par **H. Schmidt**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 919-937, décembre 1902.

La méthode est une combinaison de la méthode de Drude et de celle de Starke.

Dans un appareil de Drude, on détermine la longueur d'onde pour différentes capacités du condensateur terminal. On obtient ces capacités en remplissant le condensateur avec des liquides dont le pouvoir inducteur est connu et on représente par une courbe la longueur d'onde en fonction du pouvoir inducteur. Ensuite on répète la même série de mesures après avoir introduit la lame cristalline entre les armatures du condensateur. La capacité et par suite la longueur d'onde sont plus petites que dans la première série, tant que le pouvoir inducteur du cristal est inférieur à celui du liquide, plus grandes quand le pouvoir inducteur est plus grand. Les deux courbes se coupent donc et l'abscisse du point d'intersection représente le pouvoir inducteur du cristal.

Cette méthode permet d'atteindre les pouvoirs inducteurs jusqu'à 81 (pouvoir inducteur de l'eau). On peut aller au delà, par extrapolation, en prolongeant les courbes. Pour les pouvoirs inducteurs beaucoup plus grands, on emploie un autre condensateur de capacité plus grande, pour le comparer à celui qui renferme le cristal. On admet que le rapport de leurs capacités est indépendant du pouvoir inducteur du liquide qui les remplit tous deux.

La loi de Maxwell $n^2 = K$ se vérifie seulement dans le cas du soufre. Dans les autres cristaux, elle ne se vérifie jamais numériquement, ni même toujours quant au sens de la double réfraction.

La différence des pouvoirs inducteurs dans les diverses directions est parfois très grande (jusqu'à 50 p. 100).

Le rutile et la pyromorphite ont une conductibilité extrêmement faible et un pouvoir inducteur énorme (173 et 150).

Les mesurent confirment celles de Curie : le pouvoir inducteur est indépendant de la durée de la charge dans la calcite, le quartz, la topaze, le sel gemme, l'alun et la fluorine ; mais diminue notablement avec la durée de la charge dans l'émeraude et la tourmaline. M. L.

Sur le phénomène de Zeemann, par **A. Færber**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 886-899, décembre 1902.

Jusqu'à 24 000 unités, l'écartement des raies est proportionnel à l'intensité du champ magnétique.

Pour les raies 4678 (du cadmium) et 4680 (du zinc) on a :

$$10^{-5} \frac{\Delta\lambda}{\lambda^2 H} = 18,13.$$

avec une erreur probable de 1/100.

Contribution à l'étude des phénomènes photoélectriques, par **Th. Wulf**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 946-963, décembre 1902.

L'arc électrique émet des rayons ultra-violets en grande quantité ; mais l'intensité est très variable. On obtient une source émettant des rayons ultra-violets intenses et plus constante, en faisant brûler de la vapeur de sulfure de carbone dans l'oxygène.

---

(1) Soit z la direction de l'aimantation : la composante du champ suivant cette direction est nulle sur la surface d'un cône décrit autour de Oz avec un angle au sommet égal à 54°44'8". La composante horizontale X est maxima sur la surface d'un autre cône dont l'angle au sommet est 63° 26'6".

Si l'aimant a la forme d'une sphère aimantée uniformément, la surface de ces cônes satisfait à la condition énoncée jusqu'au voisinage même de la sphère. Autrement, cela n'est vrai que pour les grandes distances.

Si l'aimant étudié se trouve dans la première position de Gauss, l'axe Oz est orienté de l'Est à l'Ouest, l'aimant libre est placé sur cet axe, l'aimant protégé au point correspondant du deuxième cône.

Dans le dispositif unipolaire, l'équipage magnétique peut être plus court. L'axe Oz est vertical : la surface sur laquelle la composante X est maxima est asymptotique au cône de 63°.

L'aimant libre est placé sur cette surface, l'aimant protégé est dans le plan équatorial.

Le platine polarisé par l'hydrogène acquiert une grande activité photoélectrique, tandis qu'il reste très inactif quand il est polarisé par l'oxygène, le chlore ou l'ozone. Cette observation confirme que les métaux se rangent par ordre d'activité dans le même ordre que dans la série des tensions de Volta.

L'activité photoélectrique dépend du milieu ambiant; elle est d'autant plus grande que la différence de potentiel au contact entre le métal et le milieu ambiant est plus grande. M. L.

Sur certaines particularités du passage de l'électricité d'un corps à un autre, par **Th. Sundorph**. *Overs. Kgl. Danske Videnskab. Selsk. Fork.*, Copenhague, p. 1-15, 1903.

Lorsqu'un courant électrique passe d'un corps à un autre et que ces deux corps ne se touchent que légèrement, il se produit, comme on sait, au point de contact, une résistance dite « résistance au passage ». L'auteur a soumis cette dernière à un examen plus approfondi, en pressant l'un contre l'autre deux fils horizontaux, se croisant à l'angle droit; l'un des plateaux d'une balance, rempli d'une quantité plus ou moins grande de sable et qui pesait sur le fil supérieur, rendait plus ou moins intime le contact de ces deux fils. Quand on envoie le courant de deux couples de Daniell à travers le point de contact et qu'on varie l'intensité du courant en insérant des résistances plus ou moins grandes, on constate que la résistance que représente le point de contact s'accroît fortement si le courant diminue d'intensité; c'est ainsi que pour une diminution de 0,1 à 0,02 ampère, cette résistance a augmenté de 19 à 60 ohms. Lorsque la pression de deux fils est assez forte, cette résistance est toutefois constante, en raison probablement de la disparition de la couche de vapeur d'eau à laquelle, paraît-il, est due la force électromotrice antagoniste, qui joue un rôle dans ces phénomènes.

M. Sundorph constate qu'entre deux fils qui se touchent il se produit au passage du courant une adhérence d'autant plus forte que la self-induction du circuit est plus grande. Voici comment l'auteur explique le mécanisme de ce phénomène: Comme les fortes self-induction insérées dans le circuit ont pour effet de diminuer l'intensité du courant, la moindre tentative pour détacher les deux fils défait partiellement leur contact; les extra-courants dus à cette rupture partielle produisent, au point de contact, de petites étincelles, qui en les soudant l'un à l'autre, ou bien en établissant entre eux des ponts métalliques très fins, donnent lieu à une adhérence plus forte qu'auparavant entre les deux fils.

En préparant les fils par des essais faits avec des self-inductions élevées, on peut leur attribuer des propriétés permanentes se manifestant même avec les petites self-inductions : le passage au contact aura diminué, l'intensité du courant et l'adhérence seront plus fortes et les déviations de l'aiguille galvanométrique, plus constante. Les ondes électriques ont des effets analogues. Des phénomènes tout semblables se présentent dans le cas où il y a, non pas un, mais plusieurs points de contact, quand on interpose, par exemple, entre deux points métalliques, de la limaille de nickel. Ici encore, il y a adhérence entre les particules, et sous le microscope, l'auteur observe aux points de contact, des mouvements de va-et-vient caractéristiques.

Branly a fait voir que le peroxyde de plomb pulvérisé prend sous l'action des ondes électriques, une résistance plus grande. L'auteur constate que cet accroissement est dû à ce que le peroxyde se transforme en un composé mauvais conducteur (PbO). Quant aux ponts conducteurs qui s'établissent entre les particules des limailles métalliques, M. Sundorph affirme qu'ils sont constitués, soit de métal pur, soit d'un oxyde métallique. A. Gradenwitz.

Principes de la dynamique des électrons, par **M. Abraham**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 106-180, janvier 1903.

Parmi les physiciens qui ont contribué à établir la théorie des électrons, les uns comme Sutherland et Drude expliquent l'inertie de l'électron entièrement par l'action dynamique de son champ électromagnétique. Les autres, comme des Coudres et Lorentz, font intervenir une masse matérielle indépendante de la charge électrique.

D'après les recherches de Kaufmann, il faudrait admettre que la masse de l'électron est de nature purement électromagnétique.

L'auteur s'est proposé d'établir sur cette hypothèse fondamentale, toute la dynamique des électrons. Il attribue à ces électrons la forme

sphérique et admet que la charge électrique est répartie en couches sphériques concentriques et uniformes : en particulier, ce qui constitue les deux hypothèses les plus simples, que la densité cubique est uniforme dans tout le volume de la sphère ou que la charge est localisée sur la surface avec une densité superficielle uniforme. Il cherche aussi quels changements se produisent quand on substitue à la sphère un ellipsoïde.

La dynamique des électrons repose sur trois systèmes fondamentaux d'équation. Le premier est l'équation cinématique qui restreint la liberté des mouvements de l'électron; le deuxième, formé par les équations du champ, définit le champ électromagnétique créé par l'électron : le troisième, système des équations dynamiques définit le mouvement de l'électron dans un champ extérieur donné. La cinématique de l'électron est la même que celle du point matériel : l'électricité est liée à l'élément de volume de l'électron solide comme la matière à l'élément de volume du corps solide.

Les équations du champ et les équations dynamiques se rattachent à la théorie de Lorentz. De cette théorie on peut déduire, comme l'a montré M. Poincaré, non seulement l'énergie électromagnétique, mais aussi une quantité de mouvement électromagnétique. Cette circonstance permet d'appliquer aux systèmes d'électrons les théorèmes relatifs au centre de gravité et d'après M. Poincaré, le théorème des aires. Les mouvements « privilégiés » des électrons peuvent alors se ramener à la dynamique de Lagrange.

En introduisant l'expression transformée du travail virtuel des forces intérieures, ramenées à une translation et à une rotation dépendant du champ électromagnétique, on obtient l'équation dynamique sous la forme qui correspond au principe de d'Alembert. On obtient également les équations du mouvement. Seulement ces équations n'ont pas de solution générale. Les mouvements privilégiés les plus intéressants sont ceux qui sont stationnaires par rapport à un système d'axes liés à l'électron. Dans ces conditions le vecteur qui caractérise les forces intérieures est le gradient d'un « potentiel de convection ». A cette classe de mouvements appartiennent la translation et la rotation avec une vitesse uniforme.

Dans le cas de la translation, on peut déduire le déplacement et l'énergie d'une fonction analogue à la fonction de Lagrange. On peut également, si le mouvement est quasi-stationnaire, définir une « masse électromagnétique. »

D'une manière générale les équations de Lagrange s'appliquent à ces mouvements privilégiés lorsqu'ils sont stationnaires ou quasi-stationnaires.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 16 février 1902.

Une loi relative aux forces électromotrices des piles fondées sur l'action réciproque des dissolutions salines et électrolytes solubles; par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 413-427.

Cette loi est la suivante : Lorsque l'on fait agir une base sur un acide, la force électromotrice développée est la somme des forces électromotrices développées par l'action du sel correspondant sur l'acide, d'une part, et sur la base, d'autre part.

Les dissolutions réagissantes sont supposées étendues, de titre équivalent, et ne donnant lieu à aucune séparation de produits gazeux ou insolubles, ni à aucun changement progressif, autre que la neutralisation, dans leur constitution intérieure.

Soient, par exemple, les trois dissolutions

AzO^3H, $63^g = 5^l$, $NaOH$, $40^g = 5^l$; AzO^3Na, $85^g = 5^l$.

portées à une température telle que $14°$; la force électromotrice E, développée par la réaction $AzO^3H + NaOH$, a été trouvée [1] égale à 0,56 volt; la force électromotrice ε_1, développée

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 232.

par la réaction $AzO^3H + AzO^6Na$, a été trouvée (1) 0,15 volt; enfin la force électromotrice ε_2, développée par la réaction $AzO^3Na + NaOH$, a été trouvée (2) 0,42 volt.

La somme des deux dernières forces électromotrices :

$$0,42 + 0,15 = 0^{volt},57.$$

valeur sensiblement égale à la première force électromotrice : 0,56 volt.

Cette concordance est d'autant plus frappante qu'elle est constatée entre des forces électromotrices déterminées il y a deux ans, sans aucune vue préconçue, dans l'ignorance de la loi actuelle (3).

Dans la suite de son mémoire, M. Berthelot montre que cette concordance se retrouve pour les forces électromotrices constatées au cours de l'étude des réactions salines entre divers acides et bases, pourvu que les corps mis en œuvre ne soient pas oxydables dans les conditions des expériences. Cette réserve, relative aux mesures des forces électromotrices constatées avec des électrodes de platine, n'atteint point d'ailleurs la loi elle-même.

Sur le rayonnement du polonium et du radium, par **Henri Becquerel.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 431-434.

Dans une note récente (4) l'auteur décrivait une expérience permettant de mettre hors de doute et de mesurer la très faible déviabilité observée par M. Rutherford pour une partie du rayonnement du radium. Cette partie, que l'auteur appelle les rayons α, avait été considérée jusque-là comme non déviable parce que l'on n'avait pas expérimenté avec un champ magnétique assez intense. Elle est déviée en sens contraire du faisceau cathodique et paraît identique aux *Kanalstrahlen* de Goldstein.

Dans la même note, M. Becquerel indiquait que les rayons du polonium, dont l'absorption est tout à fait analogne à celle des rayons α du radium, paraissaient jouir du même caractère de déviabilité. Il a pu, depuis, obtenir des épreuves assez nettes pour établir l'identité des rayonnements.

L'expérience a été faite avec quelques grains de polonium métallique, obligeamment prêtés par M. et Mme Curie; ce produit, préparé depuis longtemps, est affaibli et ne donne plus que des impressions photographiques relativement faibles. Pour obtenir des épreuves mesurables, il a fallu prolonger considérablement le temps de pose dans le champ magnétique, ce qui a conduit à réduire le courant de l'électro-aimant pour éviter un échauffement trop grand. Les premières épreuves avaient été obtenues dans un champ trop faible. Avec les précautions convenables, M. Becquerel a pu, avec un courant de 5 ampères, prolonger la pose efficace jusqu'à une durée de 20 heures réparties en quatre périodes pendant quatre jours consécutifs. Dans les intervalles, on couvrait la matière active, de façon à arrêter le rayonnement; on interrompait le courant et l'électro-aimant se refroidissait jusqu'au lendemain (1).

Immédiatement après avoir obtenu l'une des épreuves avec le polonium, on a fait une nouvelle épreuve avec le même dispositif, dans des conditions identiques, en substituant au polonium un sel de radium recouvert d'une très mince feuille d'aluminium battu. La pose est alors beaucoup plus courte : on obtient de très bonnes épreuves en posant 40 à 50 minutes pour chaque sens de l'aimantation.

Les deux épreuves, l'une faible pour le polonium, l'autre intense avec le radium, paraissent

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 244.

(2) Même Recueil, p. 257.

(3) On doit adopter, les valeurs maxima, observables seulement au bout de quelques minutes, comme les plus exemptes de polarisation. — La première lecture ne compte pas. Sur la méthode employée, voir le Mémoire indiqué ci-dessus, p. 170 et suivantes.

(4) *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 383, 7 mars 1903.

(1) Voici la disposition de l'expérience. La matière active était rassemblée dans une rainure pratiquée dans un petit bloc de plomb; au-dessus, à 0,88 cm de distance, était disposée une fente très fine, parallèle à la rainure, et le tout était placé horizontalement dans un champ magnétique, parallèlement au champ. Sur la fente venait s'appuyer obliquement une petite plaque photographique inclinée d'environ 70° sur le plan horizontal, et son arête normale à la fente. La plaque photographique coupe ainsi le faisceau dévié, qui donne une trace théoriquement elliptique et en fait sensiblement rectiligne. En renversant le sens du courant au milieu du temps de pose on obtient deux traces divergentes très fines, dont l'écartement à une hauteur déterminée au-dessus de la fente permet de calculer le rayon de la trajectoire circulaire des radiations qui ont atteint cette région.

superposables. Les lignes divergentes très fines se prêtent à des mesures micrométriques. Les déviations du rayonnement du polonium et des rayons α du radium paraissent identiques dans les conditions de l'expérience. Les très petites différences observées peuvent être attribuées à des erreurs de pointé provoquées par des inégalités correspondant à une répartition irrégulière de la matière active dans la cuve linéaire qui la contient. Ces différences peuvent atteindre quelques centièmes de la déviation, et dans les régions où les pointes ont été les meilleures, les valeurs numériques des deux déviations ont été les mêmes.

D'autres épreuves ont montré que le sens de la déviation était, comme pour les rayons α du radium, inverse du sens de la déviation des rayons cathodiques.

Une estimation approchée du champ magnétique a donné, pour les expériences comparatives faites entre le polonium et le radium, une intensité d'environ 17 000 à 18 000 unités C. G. S.

Avec le radium, pour lequel la pose est plus courte, on a pu faire d'autres épreuves en augmentant le courant jusqu'à 8 ampères, courant qui avec les bobines supplémentaires de l'électro-aimant Weiss détermine un champ supérieur à 20 000 unités C. G. S.

Un résultat fondamental déjà signale dans la dernière Note et qui se trouve confirmé par les expériences présentes, est que les traces des faisceaux déviés se présentent sous la forme de lignes très fines ne montrant pas de dispersion, même dans les champs magnétiques très intenses dont il vient d'être question. Le rayonnement du polonium et les rayons α du radium se comportent comme constituant un faisceau d'une déviabilité unique, ou, tout au moins, comme ne présentant pas une dispersion de l'ordre de grandeur de la déviation, analogue à la dispersion qu'on observe avec les rayons cathodiques.

« En résumé, conclut M. Becquerel, les rayons du polonium paraissent identiques aux rayons α du radium, et l'on peut classer ainsi qu'il suit les diverses espèces de rayonnements émis par les corps actifs.

» Dans les conditions des expériences précédentes :

» 1° L'uranium n'emet avec une intensité appréciable que des radiations chargées d'électricité négative et très pénétrantes ;

» 2° Le polonium n'émet que des rayons chargés d'électricité positive et très absorbables ;

» 3° Le thorium et le radium émettent les deux espèces de radiations.

» Le radium émet en outre des rayons très pénétrants, non déviables, observés par M. Villard et qu'une longue pose seule peut faire apparaître sur les plaques photographiques. Leur faible action photographique peut être la cause pour laquelle on ne les a pas reconnus dans le rayonnement d'autres corps moins actifs que le radium.

» On ignore la nature de ces rayons, qui offrent divers caractères communs avec les rayons X. Leur trace apparaît avec une grande netteté dans les épreuves faites par la méthode que j'ai indiquée autrefois (1) ; je montre aujourd'hui une épreuve dans laquelle on voit que ces rayons traversent sans déviation un prisme de quartz de 60°.

» La même méthode a permis de faire quelques observations intéressantes sur le mode de propagation de la partie très déviable (cathodique) du rayonnement du radium au travers des corps transparents.

» J'ai déjà montré autrefois que les effets de pénétration produits par les rayons inégalement déviables étaient très différents. J'ai observé, en particulier, que des rayons très peu déviables, traversent sans altération, sous différentes incidences, des lames d'aluminium de 0,1 mm d'épaisseur ; d'autres rayons, un peu plus déviables, traversent encore les mêmes lames, mais provoquent à leur sortie des rayons secondaires ; pour d'autres, plus déviables encore, le faisceau secondaire auquel ils donnent naissance se substitue au faisceau incident, et enfin, les rayons les plus déviables sont arrêtés par une très petite épaisseur de matière, et, à leur rencontre avec celle-ci, ils provoquent sur la face d'incidence des rayons secondaires intenses.

» Les nouvelles épreuves que je présente aujourd'hui permettent de suivre les trajectoires de rayons inégalement déviables au travers de lames de paraffine ayant diverses épaisseurs,

(1) *Comptes rendus*, t. CXXXII, 3 juin 1901, p. 1286.

depuis 2 mm jusqu'à 8 mm. Les trajectoires se continuent dans la paraffine sans modification dans leur courbure, mais s'y enfoncent à des profondeurs inégales, d'autant moindres que les les rayons sont plus déviables. Dans les conditions des expériences présentes, les rayons les moins déviables pénètrent jusqu'à 2 mm environ. Si l'épaisseur est moindre ils traversent la lame ; si l'épaisseur est légèrement supérieure le faisceau secondaire qu'ils provoquent se propage au dehors, ou est arrêté par la substance elle-même à l'intérieur de laquelle il se diffuse. Les rayons les plus déviables pénètrent d'autant moins profondément qu'ils sont plus déviés ; ils paraissent s'arrêter brusquement à une certaine profondeur où un maximum d'impression révèle l'existence d'un phénomène secondaire, mais ces rayons secondaires sont absorbés sur place et ne se propagent pas au delà comme ceux qui sont provoqués par les rayons moins déviables. »

Recherches sur les clapets électrolytiques, par **Albert Nodon**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 445.

L'intéressante question des clapets électrolytiques est bien connue des lecteurs de ce journal. M. Nodon, qui a réalisé un redresseur de courants alternatifs basés sur leurs propriétés, s'exprime comme il suit :

« Les clapets ou soupapes électrolytiques sont des appareils qui ont pour but d'arrêter le courant dans une direction déterminée et de le laisser circuler librement dans une direction contraire.

« On peut réaliser des clapets électrolytiques à l'aide d'un grand nombre de métaux. Ce sont les métaux à faibles poids atomiques, tels que l'aluminium et le magnésium, qui donnent les meilleurs clapets.

« L'électrolyte du clapet doit être constitué, de préférence, par une solution concentrée d'un sel ammoniacal, et en particulier par du phosphate neutre d'ammonium. Ce sel ne provoque pas d'altération sensible des électrodes.

« Les présentes recherches ont porté principalement sur les phénomènes de condensation électrostatique et de résistance intérieure, ainsi que sur les effets de redressement des courants téléphoniques et des décharges oscillantes.

« 1° La capacité électrostatique des clapets est considérable, elle atteint la valeur de 1 farad par centimètre carré de surface d'aluminium.

« 2° L'épaisseur du diélectrique qui constitue le condensateur est de l'ordre de 10^{-8}, c'est-à-dire de l'ordre moléculaire, si toutefois l'on admet que le pouvoir inducteur spécifique du diélectrique est égal à l'unité.

« 3° Les effets de capacité jouent un rôle prépondérant dans le fonctionnement des clapets et soupapes électriques.

« Ils ont, en particulier, pour effet d'abaisser très sensiblement la valeur de la force électromotrice des courants redressés.

« 4° La résistance électrique présentée par les clapets, pendant leur période d'ouverture ou de destruction du diélectrique, est de l'ordre de 20 à 100 ohms-cm, au lieu de 6 ohms-cm qui représente la résistance spécifique moyenne de l'électrolyte.

« 5° Si l'on examine au microscope la surface d'aluminium du clapet, on ne constate pas de formation visible d'oxyde sur cette surface pendant le passage du courant. La surface d'aluminium présente constamment l'aspect d'une masse métallique poreuse.

« 6° Le clapet donne naissance à des *fuites*, dès que sa température dépasse 25° C. L'isolement du diélectrique devient très faible au voisinage de l'ébullition.

« 7° Pour obtenir, à l'aide d'un clapet, le redressement des courants téléphoniques, on relie le clapet en série avec un galvanomètre sensible et un transmetteur téléphonique.

« On observe une élongation fixe de l'aiguille du galvanomètre pendant l'émission soutenue d'une note musicale devant le téléphone. Cette méthode, qui est due à M. Estaunié, directeur de l'Ecole supérieure de télégraphie, a été étudiée avec lui et M. Montpellier, au laboratoire du ministère des postes et télégraphes. Elle permet de réaliser un mode de mesure facile des courants téléphoniques ou analogues.

« 8° Les clapets sont susceptibles, par leur capacité élevée, de transformer la décharge oscillante d'un condensateur dans l'air en une décharge continue.

« 9° On peut obtenir des effets d'induction identiques à ceux de l'interrupteur Wehnelt à l'aide d'un clapet branché sur un courant alternatif et sur une bobine d'induction munie d'un trembleur très léger susceptible de vibrer syn-

chroniquement avec la phase du courant redressé.

« La haute capacité du clapet paraît jouer un rôle prépondérant dans cet effet Wehnelt. »

Séance du 23 février 1902

Loi des forces électromotrices des dissolutions salines : influence de la température ; par **M. Berthelot.** *Comptes-rendus*, t. CXXXVI, p. 481-485.

La relation entre les forces électromotrices des dissolutions salines étant établie par les expériences relatées dans le précédent numéro (voir page 33), M. Berthelot a cherché si cette loi dépendait de la température et de la concentration.

Les expériences nouvelles effectuées dans ce but ont montré que la loi est indépendante de la température, tout au moins entre 14° et 51° C. Quant à l'influence de la concentration elle paraît être nulle entre des limites assez étendues, mais les phénomènes complexes qui se produisent avec les solutions saturées n'ont pas permis de voir nettement ce que devient la loi pour ces solutions.

Action d'un faisceau polarisé de radiations très réfrangibles sur de très petites étincelles électriques, par **R. Blondlot.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 487-489.

« L'action exercée sur une étincelle électrique par les rayons X issus d'un tube focus m'a permis de constater l'état de polarisation de ces rayons. Il était du plus haut intérêt de rechercher si les radiations spectrales polarisées exerceraient sur une petite étincelle une action présentant le même genre de dissymétrie que celle des rayons X.

» Pour étudier cette question, je me suis servi de l'appareil avec lequel j'avais étudié la polarisation des rayons X [1], en substituant au tube focus une source de lumière polarisée. La source de lumière est une étincelle produite par la bobine d'induction, une grosse bouteille de Leyde étant placée en dérivation. L'étincelle éclate horizontalement entre deux pointes d'aluminium. Sa lumière est reçue sur une surface de verre parallèle à l'étincelle, et qui en est distante de 12 mm environ ; après la réflexion, les rayons du faisceau sont polarisés plus ou moins suivant que leur angle d'incidence est plus ou moins voisin de l'angle de polarisation. En réglant l'angle de la surface réfléchissante avec le plan horizontal, on parvient à polariser ceux des rayons qui sont réfléchis horizontalement ou à peu près.

Le plan de cette polarisation (partielle) est vertical. On fait tomber ces rayons normalement sur la petite étincelle, laquelle est obtenue et disposée comme dans mes expériences sur la polarisation des rayons X. Un écran empêche la lumière de la source d'atteindre directement la petite étincelle, et un disque de zinc de 30 cm de diamètre, percé seulement d'un trou de 2 cm de diamètre pour laisser passer le faisceau polarisé, la protège contre toute influence électrique directe. Afin de pouvoir l'observer sans être ébloui par le faisceau polarisé, on interpose sur le trajet de ce faisceau une lame de quartz parallèle à l'axe, faiblement argentée, l'axe étant dirigé verticalement, de manière à conserver la polarisation de la lumière transmise. Comme on sait, la couche d'argent laisse passer les radiations très réfrangibles et, du reste, dans mes expériences, l'argenture, loin d'être continue, offrait par transparence l'aspect d'un crible. La petite étincelle étant d'abord disposée horizontalement, on constate qu'elle est notablement plus brillante et plus blanche lorsqu'elle reçoit le faisceau polarisé, car, si l'on intercepte celui-ci par un écran, on la voit instantanément faiblir et devenir rougeâtre ; l'interposition d'une lame de verre épaisse suffit déjà pour produire cet effet, en arrêtant les radiations très réfrangibles. Si maintenant on dispose la petite étincelle verticalement, l'étincelle, devenue aussitôt plus faible et plus rouge, n'est plus modifiée d'une manière appréciable par l'interposition d'un écran ou d'une lame de verre : l'action de la lumière n'existe plus.

» Si, tandis que la petite étincelle reçoit le faisceau polarisé, on la fait tourner autour de l'axe de ce faisceau, dans un plan perpendiculaire à cet axe, on la voit passer d'un éclat maximum, quand elle est horizontale, à un éclat minimum, quand elle est verticale. Les apparences sont exactement les mêmes qu'avec les rayons X et les rayons S : ici encore l'étincelle se comporte comme un analyseur. Si l'on place devant la petite étincelle un quartz perpendicu-

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 284 ; *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 461, 21 mars 1903.

laire à l'axe, de manière à faire tourner le plan de polarisation du faisceau lumineux, les azimuts du maximum et du minimum suivent cette rotation. Si l'on dispose le quartz argenté de façon que son axe fasse un angle de 45° avec le plan horizontal, ce qui détruit la polarisation rectiligne du faisceau, l'éclat de la petite étincelle demeure sensiblement le même dans tous les azimuts.

» Toutes ces expériences prouvent surabondamment qu'un faisceau polarisé de radiations émises par l'aluminium produit un renforcement notable de l'étincelle lorsque son plan de polarisation est normal à cette étincelle et n'agit pas sur elle lorsque son plan de polarisation lui est parallèle.

» En d'autres termes, il y a un *plan d'action* de la lumière polarisée sur la petite étincelle, et ce plan est normal au plan de polarisation.

» Rappelons que, dans le cas des rayons X, le plan d'action est celui qui passe par le rayon X et le rayon cathodique générateur.

» Si l'on rapproche ces deux faits, on peut, à ce qu'il me semble, en tirer une conséquence importante. Adoptons d'abord la théorie électromagnétique, tant pour la lumière que pour les rayons X. Dans les rayons X, la vibration électrique, qui est engendrée par les rayons cathodiques, ne peut être que dans le plan de ceux-ci, autrement dit dans le plan d'action ; l'analogie indique qu'il doit en être de même dans le cas des radiations lumineuses, et, par conséquent, dans celles-ci, la vibration électrique est normale au plan de polarisation, ce qui concorde avec les vues de M. O. Wiener. Si, au lieu de cela, on adopte la théorie de l'éther élastique, la vibration éthérée, qui est produite par la matière en mouvement dans l'émission cathodique, est encore dans le plan du rayon X et du rayon cathodique générateur, autrement dit, dans le plan d'action. On en conclut par analogie que dans un rayon de lumière polarisée les vibrations sont normales au plan de polarisation : c'est l'hypothèse de Fresnel. »

Hydro-tachymètre pour régulateur de turbines hydrauliques, par **L. Ribourt**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 492.

Cet hydrotachymètre a déjà reçu la consécration de la pratique, notamment dans l'installation d'éclairage électrique de la gare Saint-Sulpice-Laurières où l'on a utilisé une chute de 50 m de haut. Pour la première fois, la variation de la tension du courant produit ne dépasse pas 1 volt, bien qu'il s'agisse d'une machine de 120 chevaux.

La régulation par l'appareil dont il s'agit est obtenue (fig. 1) à l'aide d'un circuit liquide

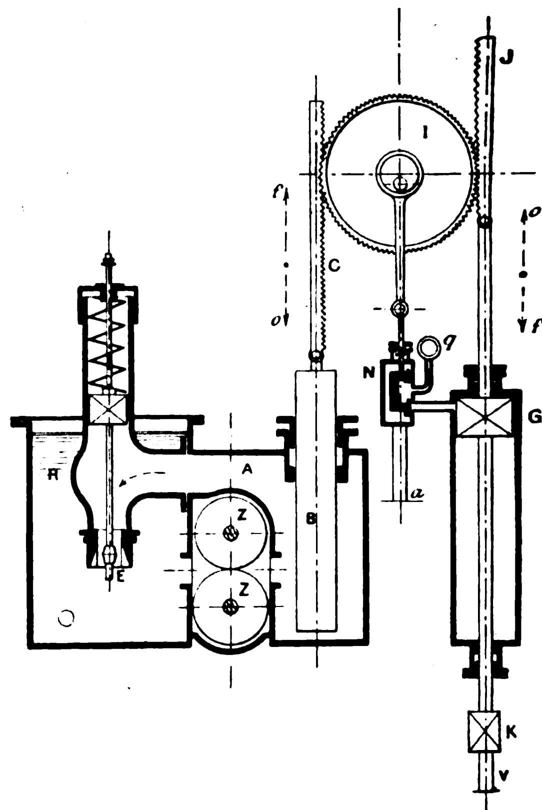


Fig. 1. — Coupe schématique.

fermé, huile ou eau pure, mis en mouvement continu par un petit compteur rotatif Z, qu'entraîne la turbine dont on doit produire la régulation. Au refoulement A de ce compteur volumétrique, qui comporte une très basse pression, le liquide passe dans un ajutage E, muni d'un organe mobile qui en modifie automatiquement la section libre, de manière à transformer les variations de vitesse du compteur en variations très amplifiées de pression interne, ces deux facteurs, vitesse et pression, se trouvant liés par une fonction algébrique d'un degré élevé, du fait de la disposition matérielle de l'ajutage.

Pour utiliser ce phénomène au réglage de la turbine, un piston flotteur lesté B est immergé

dans le liquide en circuit refoulé par le compteur et commande le tiroir de distribution N du relais G à piston hydraulique actionnant le vannage, par un dispositif d'asservissement pour le rappel à zéro constitué par deux crémaillères C et J engrenant avec le pignon suspendu I attelé au tiroir N.

Une partie essentielle de l'appareil est un train mobile qui comprend :

1° Un ajutage cylindrique calibré G (fig. 2)

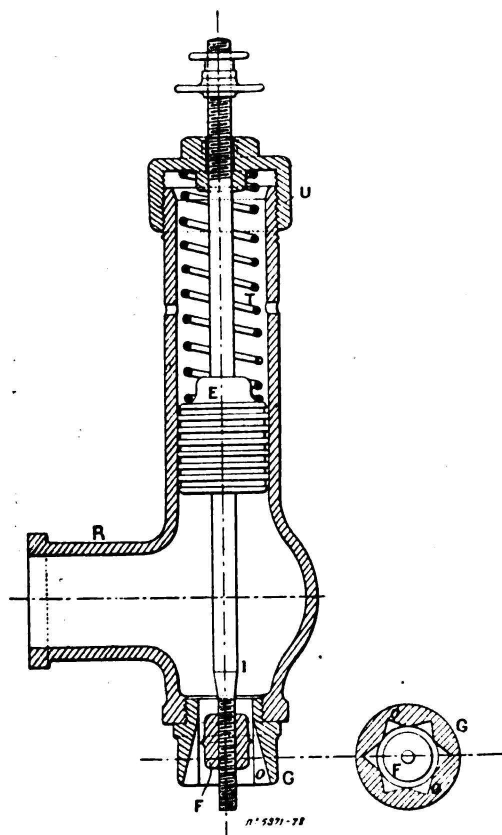


Fig. 2. — Détail du train mobile du régulateur.

terminant la partie inférieure de la tubulure d'évacuation R du liquide refoulé par le compteur; 2° des rayures triangulaires O divergentes disposées symétriquement dans l'ajutage et croissant en section transversale depuis zéro jusqu'à un maximum donné vis-à-vis la tranche inférieure de l'ajutage; 3° un disque ou obturateur partiel mobile F présentant une arête vive circulaire, placé dans l'ajutage et suspendu à la tige I d'un piston E d'équilibre sur lequel appuie un ressort antagoniste T dont la tension peut être réglée par un écrou supérieur U.

Fonctionnement de l'hydro-tachymètre. — Le piston E joue dans une partie ajustée du corps de la tubulure R de sortie du liquide en circuit et reçoit l'action de sa pression sur sa face inférieure qui tend par conséquent à le remonter en entraînant l'obturateur F dans l'ajutage à rayures divergentes; le ressort T tend au contraire à faire descendre ce train.

En marche normale, le compteur actionné par la turbine refoule le liquide en circuit qui s'écoule par l'ajutage, en franchissant la section libre laissée autour de l'obturateur; le train mobile de l'hydro-tachymètre prend alors une position d'équilibre qui est fonction : du volume du liquide débité, de la section de débit dans l'ajutage, de la pression intérieure du circuit, de la tension du ressort antagoniste faisant équilibre à l'action de cette pression sur le piston E combiné avec l'obturateur F (différence de ces deux surfaces).

Chaque modification dans le débit du compteur se traduit par un changement de la position du train mobile et aussi par des modifications correspondantes des autres facteurs. On peut régler les dimensions de l'appareil et la tension du ressort de telle manière que, avec un régime de débit moyen résultant de la vitesse du compteur marchant à l'allure normale de la turbine, l'obturateur prenne une position d'équilibre d'une instabilité maxima, telle que, pour la plus minime variation d'allure en plus ou en moins, il se produise dans le circuit des variations de pression subites considérables, qui caractérisent la sensibilité de l'appareil employé comme régulateur de vitesse.

La représentation graphique de ces conditions d'équilibre du train mobile de l'hydro-tachymètre (fig. 3) montre dans quelle mesure cette sensibilité se trouve pratiquement réalisée. Pour la construction de cette courbe, on a porté en abscisses les nombres de tours et en ordonnées les pressions évaluées en kilogrammes par centimètre carré, dans le circuit liquide. Le tracé n'est effectué que pour des vitesses voisines de celle du régime qui est, dans l'exemple choisi, 200 tours par minute.

Les variations de pression importantes, ainsi produites dans le circuit du compteur, se répercutent sur le piston flotteur actionnant le

servo-moteur du vannage et commandent opportunément les mouvements de celui-ci avec le même degré de sensibilité, suivant les tendances de la turbine à s'accélérer ou à se ralentir.

Comme le diamètre du piston-flotteur est de

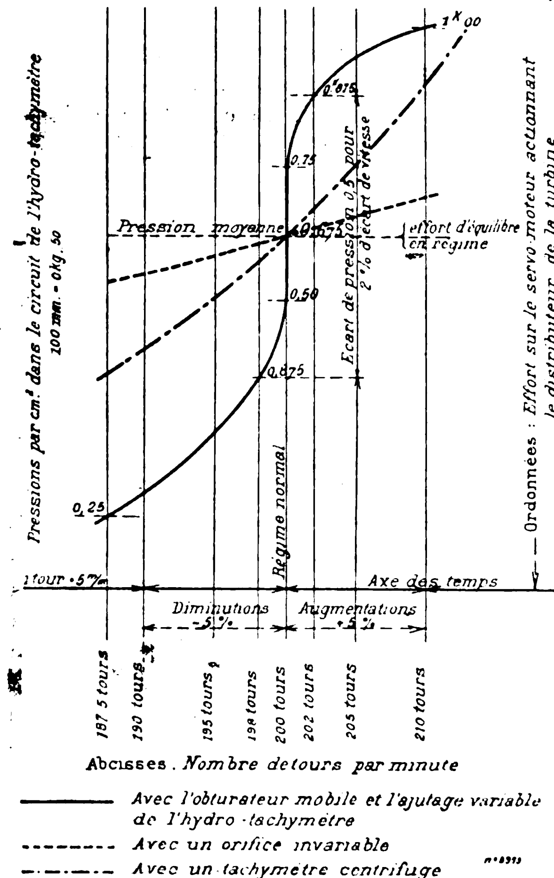


Fig. 3. — Courbe des variations de l'effort disponible pour le réglage en fonction de la vitesse de la turbine.

80 mm, et que sa surface active mesure 50 cm², son poids lesté est de 31,400 kg pour la pression de régime de liquide, soit 0,625 kg, correspondant à la vitesse normale de 200 tours par minute.

Pour un écart de vitesse de 1 p. 100 en plus ou en moins, on observe une variation de pression dans le circuit de 0,250 kg par centimètre carré, soit en plus ou en moins, 12,500 kg sur le piston. Un levier multiplicateur établi dans le rapport de 2 à 1, est employé pour transmettre l'action du piston au tiroir du servomoteur, de sorte que pour le faible écart de vitesse considéré, ce tiroir est soumis à un effort de déséquilibrage de 25 kg qui l'oblige à se déplacer.

En fait, le régulateur Ribourt est constitué par un groupement d'organes élémentaires dont les dimensions sont indépendantes de l'importance de la turbine à régulariser; on peut donc l'adapter à toute installation existante où à créer; il suffit d'y lier, par un asservissement mécanique très simple, les organes moteurs du vannage. Ce relais est constitué par un accumulateur statique de très petite capacité et par une presse hydraulique à simple ou à double effet, alimentée par une petite pompe à pression. Toutes ces parties peuvent même être groupées d'une façon compacte avec l'appareil même afin de réduire autant que possible leur encombrement.

Résultats pratiques. — Le régulateur à hydrotachymètre fonctionne, depuis un temps déjà prolongée dans l'industrie; les relevés qui ont été faits sur ses conditions de marche, par des appareils enregistreurs, montrent que sa sensibilité effective répond bien à ce qu'en indique l'étude théorique.

Notamment, dans les conditions les plus difficiles de réglage, pour une turbine de faible puissance sous une basse chute, avec un vannage lourd et à longue course, les variations de vitesse sont limitées à 1 ou 2 p. 100 en plus ou en moins de celle de régime avec des oscillations de quelques secondes de durée seulement, malgré des variations de résistance incessantes et s'élevant à 25 ou 30 p. 100 de la puissance maxima. Ces résultats sont naturellement encore plus parfaits pour les turbines à haute chute où les mouvements des vannages sont très réduits, comme efforts et amplitudes.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 11 Avril 1903. 10e Année. — N° 15

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LES SOUS-STATIONS TRANSFORMATRICES

POUR TRACTION OU ÉCLAIRAGE

La majorité des usines génératrices de création récente sont destinées à alimenter un petit nombre d'usines secondaires qui constituent autant de centres de distribution. Le choix et la conduite du matériel de ces sous-stations ont fait l'objet d'une importante communication de M. A.-C. Eborall, à l'*Institution of Electrical Engineers* [1]. Bien que cette communication date déjà de près de deux ans, les considérations qu'elle contient son demeurées à l'ordre du jour des problèmes électrotechniques; comme elle n'a pas été analysée dans ces colonnes, nous avons cru utile d'en donner ci-dessous une traduction à peu près littérale.

COMPOSITION DES SOUS-STATIONS

Dans la plupart des cas l'usine ou les usines génératrices produisent des courants alternatifs polyphasés, qui sont transmis, par des lignes à 5 ou 10 000 volts suivant la distance, à des sous-stations qui les transforment en courant continu.

Quand ce courant doit servir à l'éclairage, les sous-stations alimentent d'ordinaire un réseau à trois fils; quand il est consacré à la traction, un réseau de 500 ou 550 volts. Les sous-stations peuvent être de trois types différents, suivant la nature des machines : la puissance des unités reste, la plupart du temps, comprise entre 300 et 1 000 kilowatts par machine.

[1] *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXX, p. 702, mai 1901.

4. Groupe moteur-générateur asynchrone. — Ces unités sont généralement établies pour être alimentées directement par le courant à haute tension et les précautions sont prises pour assurer le maximum de simplicité, aussi bien à la composition de la machinerie qu'à son fonctionnement.

La mise en marche se fait simplement par interposition d'une résistance dans l'induit de chaque moteur; il n'y a aucune synchronisation à faire, le réglage de la tension du courant continu est fait à l'aide de l'excitation des machines, soit à la main, soit à l'aide d'enroulements compound à la manière ordinaire.

L'auteur fait remarquer qu'en aucun cas à sa connaissance on n'adjoint des transformateurs réducteurs aux moteurs polyphasés de grande puissance (synchrones ou asynchrones). La construction de ces moteurs se prête assez bien, en effet, à un isolement élevé, et l'auteur estime qu'à partir de 150 chevaux inclusivement on peut produire de bons moteurs économiques, enroulés pour 5 000 ou 6 000 volts. Il est d'avis de ne pas employer de transformateurs réducteurs pour des unités puissantes, au moins jusqu'à 10 000 volts; si les moteurs ont une puissance inférieure à 500 chevaux par unité et que la tension dépasse 10 000 volts, il peut y avoir intérêt à employer des transformateurs, parce que l'épaisseur de l'isolant dans les encoches atteindrait des proportions excessives, et nécessiterait l'amplification des machines, qui deviennent ainsi beaucoup plus coûteuses.

Les difficultés qu'on éprouve à conduire des sous-stations à haute tension sans transformateurs, sont généralement dues au matériel d'interruption de courant, mais ces dernières années ont vu se réaliser de grands progrès dans cette voie, et le matériel employé actuellement donne autant de sécurité qu'il est désirable.

Avec le courant à haute tension alimentant directement les moteurs, il est bon d'employer, en général, des interrupteurs placés près des machines, et généralement montés sur des colonnes, éloignés par conséquent du tableau de distribution à courant continu.

La résistance de l'induit et l'interrupteur de démarrage dans l'inducteur doivent être engagés entre eux, et par conséquent le dispositif de démarrage forme un tout; on met donc chaque groupe en marche par le mouvement d'une seule poignée, qui joue le rôle de la vanne d'admission des machines à vapeur dans les usines à vapeur. L'emploi d'un tel interrupteur près du moteur a le grand avantage de réduire la longueur des gros câbles allant à ces moteurs; on ajoute à cet avantage celui d'une parfaite sécurité en asservissant la manœuvre du rhéostat et de l'interrupteur de mise en marche.

Evidemment si les moteurs sont à induit en cage d'écureuil, le seul dispositif à prévoir est placé dans les inducteurs; il est évident que le démarrage de ces moteurs est beaucoup moins puissant et qu'on verra beaucoup plus souvent des moteurs à enroulement induit distribué, reliés à leur résistance de démarrage par des anneaux sur lesquels frottent des balais. En général, on court-circuite ces bagues et on enlève les balais après que le moteur a atteint sa pleine vitesse, ce qui limite les frottements à la seule durée du démarrage, qui ne dépasse pas en général 30 secondes en pratique.

Si la sous-station dispose de courant continu, par exemple, de celui d'un groupe déjà mis en marche ou de celui d'une autre sous-station, il est évidemment possible de mettre en marche les autres groupes à l'aide du courant continu. Mais avec les machines que nous venons de décrire il est plus commode de procéder de la façon déjà signalée.

Si le réseau alimenté par la sous-station est à trois fils, le moteur commande généralement deux machines à courant continu, placées à chaque bout d'arbre, leurs induits étant montés en série. Le moteur peut encore commander une machine de même puissance, alimen-

tant les ponts extrêmes; mais dans ce cas il est nécessaire de prévoir des dispositifs spéciaux pour équilibrer la charge sur les deux ponts.

B. Groupes moteurs-générateurs synchrones. — Ces groupes sont semblables aux précédents, à cette différence près que les moteurs asynchrones y sont remplacés par des moteurs synchrones; ceux-ci sont généralement à inducteurs tournants, et reçoivent leur courant d'excitation par l'intermédiaire de balais et d'anneaux collecteurs. Une sous-station munie de telles machines est un peu moins simple que la précédente, en raison des *dispositifs de synchronisation et de démarrage*, ainsi que de l'*excitation séparée des moteurs;* celle-ci peut être fournie par des excitatrices commandées directement, ou par un groupe d'excitation commandé par moteur séparé, en général asynchrone, ou encore empruntée aux barres omnibus. Cette dernière méthode est souvent la plus convenable. La marche d'un moteur synchrone dépend à un tel degré de l'ajustement de son excitation qu'il est nécessaire de munir chaque moteur d'un bon régulateur d'excitation.

Le *démarrage* peut s'effectuer de diverses façons, la meilleure est de beaucoup le démarrage par courant continu, emprunté aux barres omnibus ou à un groupe de démarrage auxiliaire, nécessaire au moins à la mise en marche de la première machine. On peut mettre les autres en marche à l'aide du courant qu'elles fournissent. En tous les cas on doit toujours prévoir la nécessité de démarrer les groupes moteurs générateurs directement ou indirectement, sans compter sur le courant continu de l'extérieur; c'est ce qui peut toujours être fait par un groupe de démarrage, à moteur d'induction commandant une génératrice à courant continu. Il est encore plus avantageux d'employer une batterie d'accumulateurs quand l'installation comporte leur emploi.

La *synchronisation* se fait de la manière suivante : quand par une des méthodes ci-dessus le moteur a été amené jusqu'à une vitesse voisine du synchronisme et qu'on a donné à son excitation la valeur voulue, on juge par les lampes de synchronisation de la vitesse de la machine, et on la règle en se servant du rhéostat d'excitation de la machine à courant continu marchant comme moteur shunt.

Lorsqu'on a la vitesse et la phase voulues, on ferme l'interrupteur à haute tension, et la machine marche dès lors comme moteur à courant alternatif. Finalement on règle la charge de la génératrice par son excitation, et on fixe la valeur du courant déwatté pris par le moteur à l'aide de son rhéostat d'excitation.

Si on ne dispose pas de courant continu, la meilleure méthode de démarrage, après celle que nous venons d'indiquer, consiste à employer des moteurs de mise en marche. Souvent les groupes moteurs générateurs portent en bout d'arbre, d'un côté leur excitatrice, de l'autre un moteur d'induction, monté directement sur le prolongement de l'arbre et alimenté par un transformateur réducteur; ces moteurs ont, en général, une puissance qui ne dépasse pas 10 p. 100 de la puissance de la machine; leur nombre de pôles est moindre que le nombre de pôles du moteur synchrone, ce qui permet d'élever leur vitesse au delà de celle du synchronisme, en dépit des pertes dans le fer, des pertes par frottement et ventilation, et des pertes dues à l'excitation de la machine principale. De plus le couple de démarrage de ce moteur auxiliaire doit être assez élevé, ce qui s'obtient par l'emploi d'une résistance non inductive dans l'induit : cette résistance peut, d'ailleurs, tout en n'étant pas absolument nécessaire, être d'une grande utilité dans la synchronisation.

Après la mise en vitesse du moteur de démarrage et la suppression de sa résistance induite jusqu'à la pleine vitesse, on ferme le circuit d'excitation du moteur synchrone et on règle le courant dans ce circuit pour obtenir la tension voulue. Alors on règle la vitesse en agissant lentement sur la résistance d'induit du moteur de démarrage, jusqu'à ce que

les lampes de synchronisation indiquent le synchronisme exact; alors on ferme l'induit des moteurs synchrones sur la ligne, après quoi on coupe le moteur de démarrage et on règle comme auparavant les inducteurs des deux machines.

Si le moteur de démarrage a un induit court-circuité (ce qui est plus fréquent aux États-Unis qu'en Europe), ses enroulements sont de résistance comparativement élevée et son champ excitateur très fort, pour l'obtention d'un couple puissant : par conséquent on ne dispose pas d'une résistance dans l'induit, pour le réglage du ralentissement de la machine ; on coupe alors entièrement le moteur de démarrage aussitôt qu'on a obtenu la vitesse extrême, on observe le ralentissement naturel de la machine et on ferme les interrupteurs quand la vitesse passe au synchronisme, fait dont on juge par l'observation des lampes de synchronisation.

Naturellement la mise à la ligne du moteur synchrone ne peut pas se faire aussi bien dans ces conditions, et il est préférable d'employer un moteur à résistance dans l'induit. Faisons remarquer, cependant, que si les groupes moteurs générateurs sont bien étudiés et si, notamment, les moteurs synchrones sont munis d'enroulements amortisseurs, ils se mettront en synchronisme et s'accrocheront sans aucune difficulté, alors même qu'on fermerait l'interrupteur après n'avoir atteint qu'approximativement la vitesse de synchronisme. Néanmoins, il est toujours recommandé de bien ajuster la vitesse, particulièrement si le moteur est mis en parallèle avec plusieurs machines déjà en marche ou si la charge de la sous-station est légère, car, les efforts faits par la nouvelle machine pour se mettre en synchronisme exact peuvent déterminer des mouvements pendulaires dans les autres moteurs.

La troisième méthode de démarrage est plus particulièrement étudiée ci-dessous dans ses applications aux commutatrices. Elle consiste à démarrer par le courant alternatif, le circuit inducteur étant ouvert, en connectant directement ou indirectement l'induit à la ligne. Le couple nécessaire est dû à l'hystérésis et aux courants de Foucault circulant dans les pièces polaires ou dans les circuits amortisseurs. Il est, par conséquent, assez faible, ce qui rend la méthode peu recommandable en elle-même. Elle est cependant assez souvent employée parce qu'elle est simple, mais un peu de réflexion permet de montrer qu'elle nécessite un moteur à faible rendement à pleine charge ; sans quoi les pertes mentionnées ci-dessus, et qui favorisent le démarrage ne seraient pas assez considérables pour obtenir le couple nécessaire.

En dehors de la question du facteur de puissance, le fonctionnement des moteurs synchrones est aussi simple que celui des moteurs asynchrones, et on peut dire qu'avec un réseau d'alimentation convenable ils donnent à peu près la même sécurité d'emploi.

C. Commutatrices. — La composition d'une sous-station de commutatrices est plus compliquée que celle des sous-stations ci-dessus, en raison des caractères spéciaux de ces machines et de leurs dispositifs régulateurs. Bien que la commutatrice ait un caractère commun avec le moteur synchrone et avec les dynamos à courant continu, elle possède de plus des caractères qui lui sont spéciaux et qui ont une grande influence sur son fonctionnement : ce qui fait que, même dans les meilleures conditions, elles ne peuvent pas se comparer, au point de vue de la facilité du fonctionnement, avec les groupes précédents.

Le premier point à noter, au point de vue d'une sous-station de commutatrices, est la nécessité d'une tension faible à courant alternatif. En effet, sa tension est toujours dans un rapport donné avec le voltage à courant continu, voisine, en général, de 61 p. 100 en triphasé, et de 71 p. 100 en diphasé [1], en conséquence, on doit toujours insérer des trans-

[1] Ce sont les valeurs à vide — quand la machine est en charge les valeurs diffèrent naturellement un peu, en

formateurs réducteurs entre les lignes à haute tension et les anneaux collecteurs de courants alternatifs de la commutatrice. Pour les unités de grande puissance on emploie presque toujours des transformateurs séparés sur chaque phase, mais pour des commutatrices triphasées ou hexaphasées et de faible puissance, il est toujours préférable d'employer des transformateurs triphasés, puisque leurs circuits magnétiques communs atténuent les différences de tension entre les phases et que ces transformateurs constituent d'excellents équilibreurs.

En diphasé il y a deux transformateurs par commutatrice, en triphasé ou hexaphasé il y en a trois. La façon dont ces transformateurs sont reliés dans ces deux derniers cas présente de l'intérêt, et nous allons la faire connaître.

D'abord, en *triphasé*, il est de régle générale que le meilleur groupement des trois transformateurs est la *disposition en triangle* aussi bien au primaire qu'au secondaire : en effet, s'il saute un fusible sur une phase, cela n'interrompt pas le service, car les deux phases qui restent peuvent continuer à fournir le courant triphasé aux trois phases du transformateur, et les réactions dans celui-ci tendent à maintenir l'équilibre en triphasé. Dans ces circonstances la commutatrice peut maintenir sa pleine charge pendant tout le temps nécessaire pourvu qu'il ne soit pas excessif — il faut, naturellement, pendant sa durée, surveiller l'échauffement des deux transformateurs qui restent et qui font tout le travail de trois.

Si les transformateurs étaient montés *en étoile*, au lieu d'être en triangle, la commutatrice aurait marché en monophasé, donnant lieu à de fortes étincelles au collecteur, et on serait obligé d'arrêter la machine. Même au cas où ces étincelles ne seraient pas dangereuses, la machine ne pourrait pas maintenir sa charge pendant le temps nécessaire, et de plus le réseau serait entièrement déséquilibré (à cet avantage se joint l'avantage secondaire que l'enroulement à basse tension des transformateurs a une section de cuivre réduite de 42 p. 100 et qui revient à bien meilleur marché).

Le *montage en étoile* offre l'avantage de réduire l'encombrement de l'enroulement primaire, parce que la tension aux bornes de chaque transformateur est de 58 p. 100 seulement de la tension de la ligne et qu'on peut réduire, en conséquence, l'enroulement primaire : c'est évidemment un avantage appréciable quand on a affaire à une tension très élevée, mais l'auteur estime qu'elle est loin de présenter autant d'intérêt que l'avantage des connexions en triangle au point de vue de la sécurité et de la continuité de service.

En *hexaphasé* on peut faire exactement le même raisonnement et donner pour les mêmes raisons, la préférence à l'enroulement à *double triangle* sur l'enroulement à *double étoile* : c'est cet enroulement à double triangle que représente la figure 1.

On voit qu'elle superpose deux groupes d'enroulements secondaires de transformateurs reliés respectivement en triangle et combinés électriquement par l'intermédiaire des enroulements de la commutatrice.

Les trois enroulements secondaires *a*, *b*, *c*, aboutissent à des points de la commutatrice situés à 120° (électrique) entre eux, tandis que les trois secondaires *d*, *e*, et *f*, également reliés en triangle, mais dans la direction opposée, aboutissent à trois autres points intercalaires ; dans ces circonstances, et puisque la moitié du secondaire de chaque transformateur est opposée à l'autre moitié (les deux moitiés différant de 180° en phase) les deux triangles diffèrent d'une demi-période de 180°, et c'est ce qui fait qu'ils satisfont aux autres conditions d'un système hexaphasé.

---

raison de la chute de voltage dans l'induit. Elles s'en écartent encore si la forme périodique du voltage appliqué n'est pas sinusoïdale.

On sait que la connexion hexaphasée pour commutatrices, tout en étant plus coûteuse, offre des avantages qui compensent largement ce surcroît de prix.

On eut pu reconnaître ces avantages bien avant, car Steinmetz et Kapp ont établi depuis longtemps que le débit d'une commutatrice donnée peut s'élever de 40 à 50 p. 100 par son emploi. C'est-à-dire que, pour le même échauffement des bobines induites, une commutatrice montée en hexaphasé a un débit dépassant de 40 à 50 p. 100 son débit en triphasé (la marge 40 à 50 p. 100 étant laissée indéfinie suivsnt la valeur du facteur de puissance au côté alternatif. Comme le débit de toute commutatrice bien étudiée est déterminé par l'échauffement de ses enroulements (puisqu'elle ne donne lieu, normalement, à aucune distorsion de flux pour un facteur de puissance à peu près égal à l'unité), cet *accroissement de débit* est d'un avantage pratique considérable.

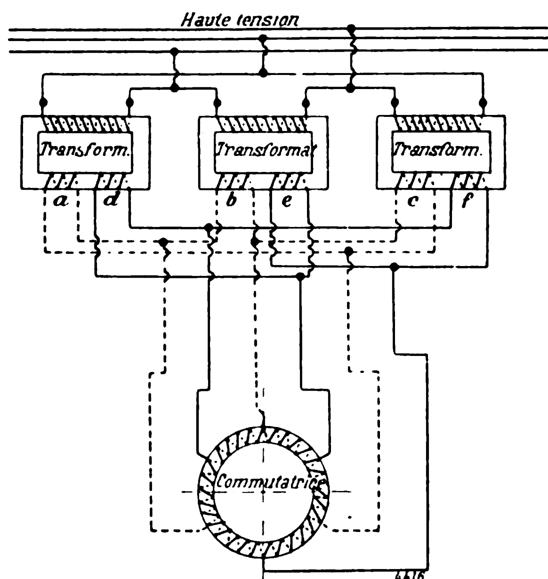


Fig. 1. — Enroulement à *double triangle* en courants hexaphasés.

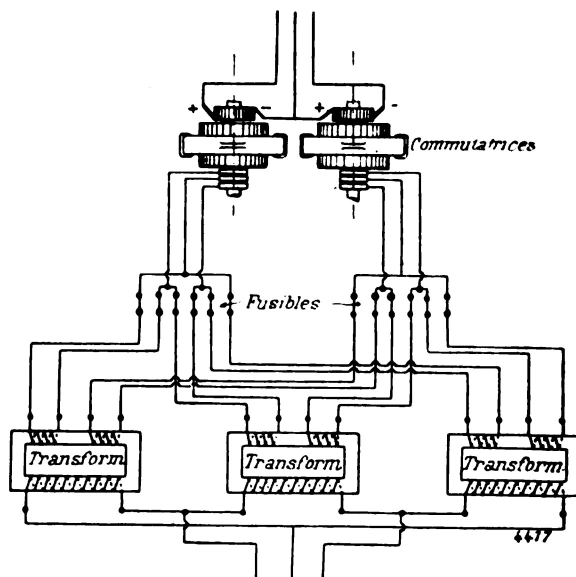


Fig. 2. — Connexions d'un groupe de deux commutatrices et de leur transformateur, pour l'alimentation d'un réseau à courant continu à 3 fils.

Ajoutons aussi que la connexion hexaphasée assure à la commutatrice un *échauffement beaucoup plus uniforme :* on sait, en effet, que dans les commutatrices diphasées et triphasées, les parties de l'enroulement voisines des anneaux collecteurs s'échauffent beaucoup plus que les autres (1). Avec un enroulement hexaphasé, l'échauffement dépassera rarement un maximum de plus de 20 p. 100 ; on pourrait gagner encore en puissance et en uniformité d'échauffement en passant de 6 phases à 12 phases, mais le gain serait plus qu'anéanti par l'augmentation de prix et de complication de la machine.

Les commutatrices exigent l'emploi de transformateurs réducteurs ; les dispositifs de commande se compliquent, bien qu'il ne soit pas de règle d'employer des *interrupteurs secondaires dans les transformateurs :* il n'en est pas moins vrai que cette pratique serait à recommander dans tous les cas ; il est même un cas où elle est absolument nécessaire, c'est celui des commutatrices triphasées devant démarrer avec le courant continu. Dans ce

(1) Voir l'analyse qu'en a faite Steinmetz dans les traités suivants : *Elements of Electrical Engineers, Alternating Current Phenomena,* traduction française 1901-1902.

cas, à moins que les secondaires des transformateurs soient ouverts, il se produit un court-circuit sur l'enroulement induit au moment du démarrage, ce qui provoque une absorption de courant considérable et de violentes étincelles au collecteur, jusqu'à ce que la machine ait atteint une vitesse voisine du synchronisme. Le mieux est de monter ces interrupteurs secondaires au voisinage des transformateurs, qui doivent eux-mêmes n'être pas très loin des commutatrices, afin de réduire la chute de tension, les pertes et le prix de revient des conducteurs secondaires.

Avant de laisser de côté les connexions de transformateurs pour courants triphasés, mentionnons le cas pratique dans lequel il faut donner aux transformateurs des dispositions spéciales : quand 2 ou plusieurs convertisseurs ne sont pas destinés, pour des raisons quelconques, à recevoir leurs courants alternatifs de groupes séparés de transformateurs, et sont reliés du *côté continu à un réseau à 3 fils*, il est nécessaire alors d'enrouler chaque unité formant le groupe de transformateurs, d'enroulements secondaires multiples et les connexions sont telles que les représente la figure 2.

Faisons remarquer que l'arrangement des fusibles dans le circuit secondaire des transformateurs est prévu pour protéger entièrement les appareils sans interrompre le service, au cas où un seul transformateur serait endommagé. Ce montage et cette disposition de fusibles sont dus à la « General Electric C° ». Nous avons déjà dit plus haut l'avantage, à ce point de vue, des transformateurs montés en triangle.

Dans certains cas le montage en étoile peut présenter un avantage pour des commutatrices alimentant un réseau à 3 fils, parce qu'on peut obtenir de cette façon un meilleur équilibrage des deux ponts ; le point neutre secondaire de chaque groupe de transformateurs peut être, avec profit, relié au fil moyen, qui peut ou non être mis à la terre. Dans ces circonstances chaque commutatrice serait alimentée par un groupe séparé de transformateurs.

La première question qui se présente à l'égard d'une sous-station de commutatrices est la *régulation du voltage*. Il est clair que cette question est absente pour les sous-stations de moteurs générateurs (asynchrones ou synchrones) puisqu'on règle, automatiquement ou non, l'excitation des génératrices. Il en va différemment des commutatrices, dont les voltages sont pratiquement indépendants de l'intensité d'excitation (bien qu'ils dépendent de la configuration du champ) ; conséquemment leur voltage ne peut pas être réglé par l'excitation.

La *pratique a consacré deux modes de régulation*, reposant sur le même principe : la variation du voltage appliqué aux anneaux collecteurs et la répercussion de cette variation sur le côté continu, comme on a déjà indiqué que le rapport des deux voltages est pratiquement constant.

La *première méthode* consiste à changer à la main le voltage appliqué aux anneaux. On peut l'employer des deux façons suivantes : soit en variant le voltage par changement du rapport de transformation des transformateurs réducteurs de tension, soit en le changeant au moyen d'un régulateur d'induction.

Dans le premier procédé les transformateurs sont reliés à un jeu de contacts, qui permet de changer à la main le nombre des spires primaires ou secondaires, et par conséquent le rapport de transformation ; les transformateurs alimentant chaque commutatrice ont leurs interrupteurs de réglage asservis, de manière que les variations du nombre de tours sur chacun soient simultanées. Il est évident que cette méthode présente des désavantages : le plus sérieux de ceux-ci étant le prix de revient élevé des appareils et les difficultés de fonctionnement ; si la *régulation a lieu sur les primaires*, la construction des contacts est diffi-

cile et coûteuse, en raison du haut voltage des circuits auxquels ils sont reliés. Si la *régulation est effectuée sur les secondaires* la dépense devient encore plus élevée, en raison des fortes intensités de courant, et le fonctionnement laisse à désirer, comme celui de tous les interrupteurs donnant passage à des courants de grande intensité ; de plus il est difficile de disposer ces interrupteurs de façon à obtenir une régulation progressive et sans interruption, tout en évitant de court-circuiter les sections des enroulements transformateurs reliés aux contacts du régulateur, à mesure qu'on les met en circuit ou hors circuit.

Les difficultés qui s'opposent à l'emploi de tels transformateurs peuvent être définies par un seul mot, si on rappelle la construction coûteuse et les nombreux inconvénients des régulateurs de batterie pour éléments de réduction. Le principe et le fonctionnement des appareils sont dans les deux cas les mêmes, et sujets, au cas de forts courants, aux mêmes inconvénients.

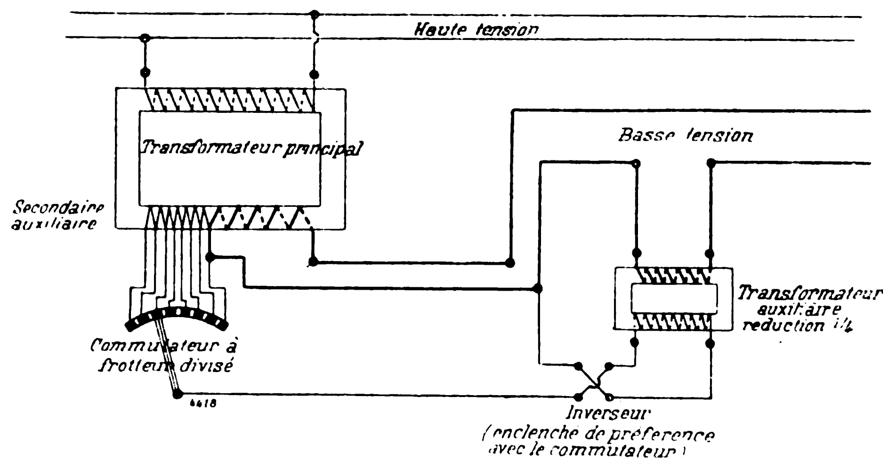


Fig. 3. — Régulateur d'induction, système Field.

C'est pour ces raisons que l'emploi du *régulateur d'induction*, qui ne souffre aucune de ces restrictions et ne donne lieu qu'à des pertes peu élevées, est considéré comme donnant les meilleurs résultats dans le cas où le réglage doit se faire à la main.

En raison des difficultés d'isolement les régulateurs d'induction doivent, en général, être insérés dans le circuit secondaire des transformateurs. Les premiers régulateurs se composaient d'un noyau de fer en présence d'un enroulement shunt et d'un enroulement série sur chaque phase, ce noyau étant disposé de façon que son déplacement augmentera ou diminuera l'induction mutuelle des deux circuits : si, par exemple, le noyau est placé intermédiairement aux circuits, l'induction mutuelle réduit la tension appliquée aux anneaux de la commutatrice. Si on écarte le noyau l'effet d'induction sur la bobine série s'affaiblit graduellement jusqu'à ce que le voltage aux anneaux soit devenu le plein voltage des secondaires du transformateur. Un tel appareil était de construction facile et peu coûteuse; il s'est montré très efficace en pratique et a donné facilement des variations de 6 p. 100 au-dessus ou au-dessous de la moyenne, de plus il est facile de le commander à distance ; il ne présente ni contacts ni conducteurs mobiles, et n'offre aucun danger d'insécurité.

La figure 3 représente une *modification du régulateur d'induction que nous venons de décrire, due à M. M.-B. Field :* il a l'avantage d'être plus efficace que le régulateur d'induction décrit ci-dessus. Le secondaire de chaque transformateur réducteur présente un enroulement subsidiaire, capable de porter environ 25 p. 100 de l'intensité, du courant

secondaire; les spires sont reliées à un commutateur multiple, qui peut les mettre en communication avec un enroulement de plus petite section d'un petit transformateur auxiliaire (rapport de transformation, 1 à 4, par exemple).

L'autre enroulement du transformateur secondaire est en série avec le secondaire du premier, de manière à survolter ou dévolter le circuit. On voit que ce dispositif permet de régler le voltage et l'intensité, sans conduire à des dispositions dispendieuses; son emploi est facile et n'oblige à aucune interruption de service si le régulateur se détraque.

La *seconde méthode* de régulation du voltage présente un intérêt technique considérable; elle consiste à compounder les commutatrices et à disposer d'une certaine inductance entre les bornes secondaires du transformateur et les anneaux des machines, par l'insertion de bobines de réactance, si la réactance qui déjà existe n'est pas suffisante. Les commutatrices fonctionnent commme machines synchrones, à un facteur de puissance qui dépend entièrement de l'excitation de leurs inducteurs; un changement de celle-ci élève ou abaisse le facteur de puissance des circuits à courant alternatif; à toute charge de la commutatrice correspond donc une excitation pour laquelle le facteur de puissance sera maximum, ainsi que nous l'ont appris les courbes en V de M. Mordey. Soit l'enroulement shunt des inducteurs d'une commutatrice, supposons qu'il y soit ajouté un enroulement série, et qu'au besoin on ait ajouté des bobines de réactance telles qu'à faible charge la machine absorbe une certaine quantité de courant décalé en arrière, 30 à 40 p. 100 par exemple du courant de pleine charge, en partie dû à la faible excitation, en partie à la réactance. A mesure que la charge croît, le flux inducteur augmente par l'effet du courant passant dans l'enroulement série — donc le courant en retard diminue, et par conséquent le voltage appliqué croît, et produit une élévation correspondante du voltage au côté continu; ce dernier augmente encore l'excitation, puisqu'il alimente l'enroulement en dérivation de la machine, et provoque une réaction sur l'alternatif. Les effets signalés se produisant jusqu'à ce que l'équilibre soit atteint dans les voltages. A pleine charge le flux inducteur est à son maximum; le courant absorbé sera alors en avance en raison de la surexcitation et le voltage au côté continu s'élèvera à la valeur voulue par suite de l'augmentation du voltage aux anneaux collecteurs. En proportionnant cenvenablement la réactance et les enroulements de la machine, on obtient une régulation de voltage excellente et parfaitement automatique; on peut atteindre par ce moyen un surcompoundage de 10 à 15 p. 100 et une régulation à peu près aussi bonne que celle d'une dynamo à courant continu surcompoundée [1], pourvu que la tension aux extrémités des feeders, dans les sous-stations, soit maintenue aussi constante que possible.

La *seule objection* qu'on peut faire à cette méthode de réglage, est l'influence qu'elle exerce sur le voltage aux points d'alimentation, c'est-à-dire jusque sur les barres omnibus à haute tension d'une sous-station, et si on a un certain nombre de celles-ci en parallèle, il est difficile de supposer, comme nous l'avons fait ci-dessus, que le voltage d'alimentation restera constant par suite des variations des facteurs de puissance aux sous-stations.

Les *proportions de surcompoundage possibles* avec les commutatrices, au moyen de la méthode ci-dessus, dépendent surtout de la puissance réelle de la machine, par rapport au service qu'elle devra faire. La limite est évidemment atteinte quand le courant qu'elle porte a pris une avance égale à 90° sur le voltage appliqué (par suite de l'augmentation

---

[1] Avec une commutatrice de construction ordinaire, le changement de flux excitateur nécessaire pour obtenir le surcompoundage désiré est beaucoup plus grand qu'il n'est nécessaire avec les dynamos à courant continu équivalentes, car le voltage du courant continu n'est pas proportionnel au flux d'excitation, mais proportionnel au voltage appliqué aux anneaux.

d'excitation), car alors la force électro-motrice de la bobine de réactance (qui est de 90° en retard sur le courant) est en phase avec le voltage appliqué, et par conséquent augmente de toute sa valeur. Si le courant est en retard de 90° sur le voltage appliqué, la force électro-motrice de la bobine est d'une demi-période en retard sur le voltage, et diminue celui-ci de toute sa valeur. Aucune de ces limites n'est atteinte en pratique, car si l'angle d'avance ou de retard dépasse certaines valeurs bien définies (dépendant de la forme de la courbe en V, c'est-à-dire de la réaction d'induit de la machine), la commutatrice ne portera certainement plus sa charge normale : plus la charge normale de la commutatrice est élevée, plus la régulation doit être étendue : si le surcompoundage désiré atteint 15 ou 25 p. 100, la commutatrice doit être prise très puissante par rapport au travail qu'elle a à faire. Les commutatrices compoundées sont mises en parallèle de même manière que les dynamos compound par des conducteurs d'égalisation, munis d'interrupteurs, et l'emploi d'accumulateurs peut se faire sur leur réseau au prix des mêmes précautions que pour les dynamos compound à courant continu.

D'après ce qui a été dit, on peut juger que des deux méthodes exposées pour la régulation du voltage au côté continu des commutatrices, la meilleure est incontestablement

Pour l'éclairage, celle des régulateurs d'induction, qui permet le réglage à la main selon les besoins d'une charge lentement variable ;

Pour la traction, l'emploi des enroulements compound est préférable en raison des variations rapides et considérables de charge. Dans certains cas spéciaux, on combine les deux méthodes et on en obtient un très bon résultat.

En ce qui concerne le *démarrage des commutatrices*, toutes les remarques déjà faites sur le démarrage des groupes moteurs générateurs synchrones, sont applicables, et la seule différence à cet égard vient de ce que les commutatrices sont toujours directement excitées. Toutes les fois qu'il est possible on les démarre par courant continu emprunté soit aux barres omnibus, soit à un groupe spécial asynchrone moteur générateur ; cette dernière méthode est de beaucoup la meilleure, si on ne dispose pas de courant continu aux barres omnibus.

La méthode à préférer après celle-ci est le démarrage par moteur asynchrone en bout d'arbre, et la 4e méthode, que nous mettrons en dernier plan, consiste à *démarrer la machine directement par l'alternatif.* Bien qu'elle présente des inconvénients, elle est très employée et nous allons lui consacrer quelques mots.

Un moteur synchrone polyphasé peut *démarrer par l'alternatif*, quelle que soit sa construction, c'est-à-dire que ses pièces polaires soient massives ou lamellées, qu'elles soient pourvues ou non d'amortisseurs. C'est seulement une question d'intensité de courant et de bon arrangement mécanique.

Cette méthode de démarrage s'applique aux commutatrices de la manière suivante : leurs interrupteurs à courant continu étant ouverts et un voltmètre laissé seul au côté continu de la machine, on ferme le côté alternatif à voltage total ou à voltage réduit (dans ce dernier cas la réduction s'opère par l'emploi de transformateurs réducteurs spéciaux). En raison des courants induits dans les pièces polaires, dans les carcasses métalliques des bobines excitatrices, dans les enroulements amortisseurs quand il y en a, mais principalement en raison du retard d'hystérésis dans les pièces polaires, la commutatrice démarre immédiatement et se met vite à la vitesse de synchronisme. Le voltmètre au côté continu n'indique rien au moment du démarrage, sauf quelques faibles oscillations de l'aiguille, par l'effet du courant alternatif qui traverse l'équipage ; mais, à mesure que s'élève la vitesse de la commutatrice, l'aiguille commence à se déplacer en arrière et en

avant sur l'échelle, et son battement correspond à la fréquence plus faible du voltage au côté continu ; quand la machine a atteint la vitesse de synchronisme, l'aiguille prend une position fixe. Le moment où l'on met le courant d'excitation est le moment qui précède justement cette mise en synchronisme et il est indiqué par un voltmètre ; quand les battements de ces aiguilles sont les plus faibles, c'est-à-dire juste au-dessous de la vitesse de synchronisme, on peut mettre le courant d'excitation. Mais, il faut noter ici qu'il faut tenir grand compte en l'établissant du sens de la lecture du voltmètre. Si l'excitation a été mise sur la machine quand l'aiguille est du mauvais côté de l'échelle, alors la polarité du côté continu du convertisseur sera renversée, ce qui oblige, dans la plupart des cas, à mettre hors circuit la commutatrice et à le synchroniser à nouveau, pour obtenir la polarité qui convient. Le meilleur moyen d'y arriver est d'employer un indicateur de polarité ; après que l'excitation a été mise sur la machine on peut vérifier la polarité avant que la commutatrice soit reliée aux barres omnibus de continu. Il va sans dire qu'une lampe peut être substituée au voltmètre indiquant le synchronisme ; elle sera brillante au premier instant du démarrage, pulsatoire ensuite, et enfin redeviendra brillante au synchronisme, on pourra exciter une machine quand on reconnaîtra que les pulsations de la lampe sont très lentes ; on peut d'ailleurs monter la lampe pour faire cette opération au sombre ou au clair.

On comprendra aisément que les remarques que nous avons faites sur l'instant auquel il convient d'exciter la machine s'appliquent seulement au cas où la machine est à excitation propre, si elle est à excitation indépendante, ce qui est très rare, la machine prendra, évidemment, la polarité correcte, avec une intensité de courant plus ou moins considérable, quel que soit le pôle auquel on l'a synchronisée.

Même sans courant d'excitation, la commutatrice atteindra d'elle-même la vitesse de synchronisme. Une commutatrice peut même fonctionner sans excitation par l'effet de courant décalé en arrière et réagissant assez sur ses inducteurs pour équilibrer la force électromotrice de la machine.

Cependant une telle méthode de fonctionnement ne peut être pratique, les courants décalés surchargeant les conducteurs des réseaux, rendant impossible toute régulation de voltage aux deux côtés du réseau, et donnant même lieu à des étincelles et à des mouvements pendulaires. Jusqu'à ce jour, quand on démarre une commutatrice par le courant courant alternatif, certaines précautions sont nécessaires, jusqu'à l'arrivée au synchronisme ; l'excitation série doit être en court-circuit et l'excitation shunt doit même être interrompue en plusieurs points, car elle peut être le siège de forces électromotrices induites par le flux alternatif de l'induit, atteignant jusqu'à des milliers de volts. De plus, comme le courant de démarrage ne sera jamais moins de deux fois le courant de pleine charge, même avec l'emploi d'amortisseurs, et qu'il atteindra souvent deux fois le courant de pleine charge, il est nécessaire de court-circuiter l'ampèremètre et les fusibles, afin d'éviter d'y faire passer une trop grande intensité de courant.

Les *principales objections* à ce mode de démarrage sont évidemment la forte intensité de courant pris et les risques d'une mauvaise polarité. Le premier inconvénient rend impossible la régulation du réseau, en raison de la valeur élevée et surtout du décalage de courants. Le second inconvénient entraîne encore des risques d'accidents et des pertes de temps ; il est impossible d'y songer sur les réseaux d'éclairage où la régulation a une telle importance.

(*A suivre.*)

P. Le...

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Les dynamos à courant continu de l'Exposition universelle, par **L. Drucbert**.

Dans l'article publié sous ce titre le 21 mars (t. XXXIV, p. 425), l'indication « *mm* » est à supprimer pour les divers rapports et coefficients donnés, notamment page 427, lignes 26, 30, 31 ; page 432, lignes 8, 9 ; page 433, lignes 12, 13, 15 ; page 434, lignes 9, 13 ; page 435, ligne 14 ; page 436, lignes 1, 2 et 4.

Recherches pratiques sur la valeur des liants qui entrent dans la constitution de la matière active des plaques d'accumulateurs, par **E. Leimer**. — *Centralblatt. f. Accumulatoren Elementen und Accumobilenkunde* t. IV, p. 50 et 61, 1er et 15 mars 1903.

On sait que l'eau ne cimente que très imparfaitement les oxydes de plomb, et qu'en pratique, pour obtenir une matière suffisamment solide, on a recours à différents composés chimiques que l'on nomme liants. L'auteur a entrepris des essais comparatifs sur les 10 liants suivants :

1° Eau.

2° Acide sulfurique de densité 1,17.

3° Acide sulfurique de densité 1,20 mélangé à de la glycérine pure.

4° Extrait alcoolique de poix.

5° Ambre jaune dissous dans le sulfure de carbone et la térébenthine.

6° Gélatine chromée dissoute dans l'eau.

7° Solution hydratée de phénol.

8° Solution hydratée d'acide salicylique.

9° » d'acide acétique.

10° » de pyridine.

L'auteur ne donne pas les proportions des mélanges, mais il a employé ceux-ci dans les conditions indiquées par les brevets qui revendiquent l'emploi des substances ci-dessus. Dans tous les cas d'ailleurs, on adoptait le mélange qui donnait la plus grande solidité et les substances étaient employées aussi pures que possible.

Chacun des 10 liants précédents était malaxé avec 300 gr de minium, de façon à constituer une bouillie épaisse. Ces pâtes étaient versées dans dix formes semblables en plomb dur, et portées sur une table à secousse comme celles qui servent à la fabrication des tablettes de chocolat. Celle-ci consistait en une lourde table horizontale en bois dur munie tout autour d'un haut bord. Comme les pilons pour extraire les huiles, cette table était soulevée par une came, puis retombait brusquement, les secousses ainsi produites se succédant rapidement (120 fois par minute). Après deux heures de ce traitement, les pâtes étaient toutes devenues compactes. Un trou de 10 mm dans le milieu de chaque gâteau permettait ensuite de le suspendre dans une étuve. Chaque gâteau était dans un compartiment hermétique traversé pendant 30 heures par un courant d'air pur chauffé à 150° C. Après refroidissement, le poids des tablettes, ayant comme dimensions 70 × 30 × 18 mm, était

Numéro des tablettes. .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poids en grammes. .	300,4	304	309	302	305	302	304	305	301	302

Les plaquettes étaient ensuite plongées dans 10 vases de verre contenant 0,5 litre d'acide sulfurique à 10° Baumé. Après trois heures de trempage dans ces bains, les densités de l'acide étaient devenues :

Numéro des tablettes. .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Densité d'acide en degrés B. . .	4,8	8,9	9,7	8,1	7,4	7,1	6,1	6,7	6,5	6,9

Les densités étaient alors ramenées à 10° B. et maintenues constantes pendant 60 heures. Puis on laissait égoutter les plaquettes et on les pesait ainsi que le dépôt au fond des vases, après séchage. On obtenait ainsi :

Numéro des tablettes. .	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poids des dépôts en grammes. .	52	12	—	2	1	—	2	1	4	4
Poids des tablettes en grammes. .	309	338	330	355	342	337	358	359	362	358

Les plaquettes, séchées rapidement à 100° C. étaient encadrées à l'aide de l'alliage Julien, puis placées en formation en positives entre deux lames de plomb ordinaire de dimensions 70 × 30 × 1 mm, l'écartement des plaques étant de 15 mm.

Les 10 vases remplis de la même quantité d'acide sulfurique à 8° B. étaient chargés en série à 0,42 ampère (1 ampère par décimètre carré de surface totale positive).

La charge nécessaire à l'obtention de la teinte noire uniforme de chaque surface était celle qu'indique le tableau suivant dans lequel on a porté également le poids du dépôt de formation, après séchage.

Numéro des tablettes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Amp.-h. nécessaires	89	95	103	72	88	92	52	56	57	54
Poids du dépôt en grammes	22	9	2	3	4	3	3	2	3	3

La plaque 1 était uniformément amincie et sa surface était tendre. La plaque 2 était moins amincie, mais plus irrégulièrement. La plaque 3 était tachetée de points particuliers. Les plaques 5 et 6 possédaient quelques taches plus claires.

De 3 à 10 les surfaces n'avaient aucun défaut et, à part 4, étaient très dures.

Comme consommation de courant ce sont les plaques 7 à 10 qui se rapprochent le plus de la valeur théorique 47 ampères-heure pour 300 gr de minium (les plaques renfermaient en moyenne 294 gr de minium).

Chaque plaque était montée entre 2 négatives 100 × 40 × 10 mm à plus grande capacité (50 ampères-heure) avec des intervalles de 15 mm. La densité d'acide étant 25° B. On effectuait 6 charges (*a*) et décharges (*b*) successives à 0,41 ampère les charges étant poussées jusque 2,50 volts et les décharges jusque 1,80 volt.

Le tableau suivant indique les résultats obtenus.

NUMÉRO DES ESSAIS	PLAQUE 1		PLAQUE 2		PLAQUE 3		PLAQUE 4		PLAQUE 5		PLAQUE 6		PLAQUE 7		PLAQUE 8		PLAQUE 9		PLAQUE 10	
	a	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*
1	6	4,1	6	5,2	8	6	9	7,1	8,5	6.4	7,5	5,8	10	9	13	10	10	9,2	12	9.9
2	7,1	5,9	10,3	7	9,3	6,1	10,8	8,2	12	8,1	9,9	6	12	10,3	14.8	12,2	16,9	14	15	12,2
3	10	7,3	13,5	8,8	10,4	6,9	12	8,6	12,6	8.8	11	6,8	14,6	12,7	18	14,8	18	15,1	15,7	13,1
4	10,1	7,8	13,8	9,2	14	8.5	12,2	9,2	13,9	9,9	13	8,9	16,8	14	19,9	16,2	18.4	15,9	17,9	14,7
5	12	7,6	14	9,3	14,6	8,9	12,8	9,5	14,2	10,1	14	9,8	17,1	14,3	20,2	16,6	20	17	18,2	15,1
6	12,8	7,2	14,2	9,2	14,8	8,9	12,7	9,5	14	10	14	9,9	17,5	14,5	20,2	16,7	20,8	17,2	18,6	15.4
7	12,5	—	14,1	—	14,9	—	12.8	—	14,3	—	14,1	—	17,6	—	20,5	—	21	—	19	—

Après deux heures d'égouttage, on enlevait à l'aide d'une fine soie à ruban une bande de 15 mm de matière puis on refermait le cadre en soudant une bande de plomb. Les essais de durée étaient ensuite entrepris sur ces plaquettes toujours chargées jusqu'à 2,5 volts et déchargées jusqu'à 1,8 volt à l'intensité 0,33 ampère (correspondant toujours à 1 ampère par décimètre carré).

La plaquette 1 laissait tomber les dernières portions de sa matière active à la 14e charge; la 13e décharge ne donnait plus que 2,8 ampères-heure.

La plaquette 2 n'avait plus que 3,9 ampères-heure à la 22e décharge. Une secousse accidentelle fit tomber le peu de matière qui restait au commencement de la 23e décharge.

La capacité de la plaquette 5 était de 4,5 ampères-heure à la 46e décharge ; à la 47e charge, il se produisait un court-circuit par la chute du noyau.

La plaquette 3 se gonfla, prit une forme biconvexe puis éclata en deux moitiés à la fin de la 69e charge; les faces intérieures des deux parties étaient recouvertes d'une croûte épaisse de sulfate blanc. La capacité était de 6,8 ampères-heure à la 68e décharge.

La plaquette 6 dont la capacité baissait constamment fut arrêtée après 72 décharges, la capacité n'étant plus que 1,1 ampère-heure. En cas-

sant la matière qui avait la dureté de la pierre, on la trouvait veinée de sulfate blanc, pendant que le noyau etait encore rouge par places.

On interrompait les essais de la plaquette 4 après la 141e charge, après chute de la dernière couche (3 mm environ) de la matière restante; la capacité était de 3,7 ampères-heure à la 140e décharge).

La plaquette 9 était arrêtée après 309 charges. la matière étant devenue absolument molle et sans consistance. Les capacités étaient les suivantes :

11,1	ampères-heure	à la 100e	décharge.
9,3	»	200	»
6,2	»	300	»
2,1	»	308	«

Sur la plaquette 10, les dernières portions de matière tombaient à la 335e charge.

Les capacités étaient les suivantes :

10,1	ampères-heure	à la 100e	décharge,
8,7	»	200	»
6,1	»	300	»
1,8	»	334	»

Pour la plaquette 7, on avait de même comme capacités :

11,4	ampères-heure	à la 100e	décharge.
10,1	»	200	»
7,7	»	300	»
2,9	»	367	»

et la durée était de 367 décharges.

Enfin la plaquette 8 durait 393 décharges, avec les capacités suivantes :

11,9	ampères-heure	à la 100e	décharge.
10,6	»	200	»
6,5	»	300	»
1,9	»	393	»

Prenant les bandes sciées d'après les plaques, on constituait des cubes de 1 cm de côté; on lavait ces cubes pendant 10 jours à l'eau courante de façon à enlever toute trace d'acide sulfurique. Après séchage à 100° C. on polissait les cubes de façon à leur donner exactement 1 cm de côté, puis on plaçait sur deux faces opposées une petite lame de platine poli. On mesurait la résistance du cube entre ces deux lames; les chiffres suivants (*b*) indiquent les résultats obtenus; les valeurs (*a*) indiquent la charge en kilogrammes nécessaire pour atteindre une résistance constante.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
a	1,92	1,19	0,98	0,8	1,12	0,91	0,68	0,49	0,45	0,51	kg
b	75	53	168	72	93	107	19,9	23,3	28,1	11,9	unités S
c	5,2	11,7	52	19,3	72	112	30	33	23	27	kg

La ligne (*c*) se rapporte à la résistance à la compression.

Pour comparer les liants étudiés, l'auteur les divise en deux groupes :

1° Les matières agglutinantes qui agissent comme la colle, par exemple ;

2° Celles qui ne cimentent que par suite d'une action chimique.

Les agglutinants naturels donnent aux oxydes de plomb une solidité mécanique plus ou moins grande et une résistance électrique variable avec leur nature. A cette catégorie appartiennent les résidus de distillation des goudrons (essai 4), l'ambre jaune (essai 5), la gélatine chromée (essai 6), le mastic, la dextrine, le collodion, le caoutchouc, l'huile de lin, la gélatine, le sucre, l'albumine.

Les substances du second groupe transforment en partie le plomb en combinaisons basiques pendant l'empâtage et le séchage. Ces combinaisons, pour la plupart organiques, relient les particules d'oxyde et donnent à la matière active la meilleure conductibilité possible. L'acide sulfurique liant la matière par formation de sulfate de plomb, peut être introduit dans ce groupe, qui renferme alors les substances des essais 3, 7, 8, 9, 10.

La faible conductibilité des cubes 4 à 6 provient de la faible conductibilité des liants ememployés. C'est le sulfate de plomb qui est la cause de la grande résistance des cubes 1 à 3. D'après l'auteur, ce corps ne serait pas un bon liant et c'est pour cette raison que les plaquettes 1 et 2 ont eu une très faible durée. C'est également à la formation du sulfate de plomb qu'il attribue la chute prématurée des plaquettes 4 à 6. les liants du premier groupe étant plus mauvais conducteurs et favorisant ainsi la formation du sulfate de plomb.

La matière active préparée avec une solution hydratée de phénol tombait, après trempage dans l'acide sulfurique étendu, lorsque le séchage avait lieu dans une atmosphère d'acide

carbonique à 150° C., au lieu d'être effectué dans l'air pur. La matière séchée renfermait de l'acide salicylique. En revanche, les plaques dont la matière était malaxée avec une solution hydratée d'acide salicylique donnaient de meilleurs résultats que le phénol en solution hydratée, avec séchage à l'air pur (comparer les essais 8 et 7).

En additionnant de 1 pour 1 000 de pyridine pour masquer l'odeur du phénol, la matière tombait aussitôt en contact avec l'acide sulfurique à 10° B.

Cependant, la solution de pyridine employée seule donnait d'aussi bons résultats que la solution de phénol (comparer les essais 10 et 7).

L'auteur a utilisé la propriété qu'a la matière sèche ou en séchage d'absorber avidement les gaz et les vapeurs, en vue d'un nouveau procédé de fabrication. Il mélange d'abord les oxydes de plomb avec de l'eau pure et en garnit les quadrillages ou les grilles ; puis il porte les plaques dans une étuve fermée hermétiquement et dans laquelle le liant peut être introduit sous forme de vapeur. Au point de vue hygiénique, le procédé à l'avantage de soustraire les empâteurs au contact nuisible des liants. En employant la pyridine qui, à l'état de vapeur, à une odeur extrêmement désagréable, on constatait que la vapeur sortant de l'étuve avait une odeur aromatique rappelant celle de l'acétate d'amyle et qu'il n'existait plus de pyridine.

Ce procédé pourrait être employé pour redurcir des plaques usagées.

Un élément d'inflammation de moteurs construit d'après le procédé de l'auteur renferme 3 plaques 200 × 140 mm à 4 alvéoles (1 positive de 15 mm et 2 négatives de 10 mm d'épaisseur). Le poids total, y compris l'acide, est de 9,5 kg ; la positive pèse 3,8 kg dont 1,9 kg de minium sec. En service depuis 1898, cet élément donne 202 amp.-heure à 2,8 amp, ; 190 amp.-heure à 5,6 anp. et 160 amp.-heure à 10 amp.

Au sujet des négatives, les conclusions relatives à la matière active sont les mêmes que dans les essais donnés plus haut et avec les liants du groupe 1, on obtient des soufflures et la matière devient rapidement inactive, par suite de la formation du sulfate de plomb.

J. L.

Electrolyseur Schoop pour la décomposition de l'eau. *Centralblatt für Accumulatoren, Elementen- und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 37, 15 février 1903.

Dans les appareils à souder, on tend a remplacer actuellement le mélange d'hydrogène et d'air par celui d'hydrogène et d'oxygène qui donne au chalumeau une flamme beaucoup plus chaude et permet un travail plus rapide, particulièrement dans le cas de la soudure du plomb. Ce procédé permet d'autre part la soudure du fer, du bronze, du cuivre, etc., qui ne peut être obtenue avec l'ancien procédé.

Pour le montage de grosses batteries d'accumulateurs, on fait usage de cylindres d'oxygène et d'hydrogène comprimés. Mais dans une usine, on à intérêt à produire ces gaz qu'on utilise directement sans être obligé de les comprimer.

L'unique difficulté dans la construction des appareils d'électrolyse de l'eau réside dans la séparation certaine des deux gaz. Dans la plupart des systèmes cette séparation est obtenue par l'emploi de diaphragmes. Ceux-ci ont l'inconvénient de coûter très chers et de n'être pas toujours très sûrs.

Dans le système Schoop, ces diaphragmes sont superflus, chaque électrode élémentaire ayant la forme d'un tube recouvert sur sa surface extérieure d'une couche de matière isolante. Les tubes étant placés en regard dans l'électrolyte, le courant ne passe qu'à l'intérieur du tube et les gaz se dégagent, absolument séparés à l'intérieur de ces tubes. La hauteur des tubes détermine la pression qui est prise ordinairement entre 60 et 70 cm d'eau.

Les tubes doivent être en fer si on fait usage d'électrolyte alcalin, et en plomb avec un électrolyte acide. Dans l'appareil installé à la fabrique d'accumulateurs Gottfried Hagen, de Cologne, on préfère l'emploi de l'acide sulfurique, avec électrodes en plomb par suite du prix élevé des solutions alcalines caustiques et de l'impossibilité de les maintenir pures.

Les tubes à cloche employés ici ont 90 mm de diamètre et supportent sans inconvénient 25 ampères ; ils permettent donc de fabriquer par heure 10,44 litres d'hydrogène et 5,22 litres d'oxygène. Les tubes sont montés dans un bac élevé et garni de plomb, on laisse entre eux et le fond du vase un intervalle suffisant pour permettre le logement du peroxyde de plomb se

détachant de la positive. Le montage est absolument semblable à celui d'un accumulateur et l'acide employé est au maximum de conductibilité (densité 1,23). Le seul entretien qu'exige l'appareil est le remplissage d'eau distillée environ une fois par semaine.

La tension atteint 3,3 à 3,6 volts par élément selon la densité de courant et la température. Sur une installation à 110 volts, on peut placer 30 appareils disposés en série. La figure 1 montre l'installation faite à la fabrique G. Hagen.

Le tableau renferme l'ampèremètre A, le voltmètre V, un interrupteur ordinaire HA, un interrupteur automatique AA et un plomb fusible S. Les appareils d'électrolyse sont représentés en E; IG sont des pieds isolants en verre; IM sont des manchons isolants séparant les conduites des appareils; DM est le manomètre à eau. Le disjoncteur automatique est prévu pour éviter la décharge dans les dynamos des appareils qui, ayant du plomb, agissent comme accumulateurs après un certain temps de fonctionnement.

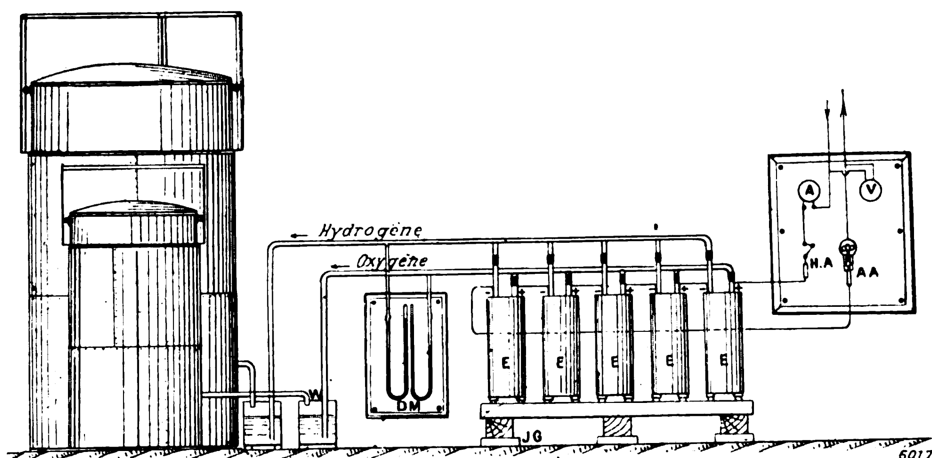


Fig. 1.

L'appareil est en service continu depuis le 18 janvier 1902; il produit par cheval-heure 97,5 litres d'hydrogène et 48,75 litres d'oxygène. Pour 1 m³ de gaz tonnant, on dépense donc 6,8 chevaux-heure. Par l'emploi d'acide chaud, on abaisse cette valeur à 6,2 chevaux-heure. En comptant l'énergie à 0,040 fr le cheval-heure, le prix de revient de 1 m³ de gaz tonnant est ainsi de 0,207 fr à 0,237 fr.

La pureté des gaz est aussi grande que possible. D'après une analyse du Dr Petri, la composition de l'oxyde serait la suivante :

Oxygène.	99,00	p. 100
Vapeur d'eau.	0,80	—
Hydrogène	0,20	—
	100,00	

Quant à l'hydrogène, il est garanti entre 97,5 et 98 p. 100.

L'appareil Schoop présente sur les autres systèmes les avantages suivants : sécurité absolue; explosions rendues impossibles; absence de troubles d'exploitation et de réparations, les diaphragmes étant supprimés; grande pureté des gaz. En revanche, il a comme inconvénient une plus grande consommation d'énergie par suite de l'emploi de l'acide sulfurique et du plomb, ce qui donne une tension élevée.

Le prix d'achat d'un appareil atteint 123 fr à 160 fr par mètre cube de gaz tonnant en vingt-quatre-heures.

L. J.

Shunts pour les galvanomètres à cadre mobile, par **W. Volkmann.** *Drude's Annalen*, t. X, p. 218-222, janvier 1903.

Appliqué à un galvanomètre à cadre mobile, un shunt doit laisser constants la résistance totale du circuit et l'amortissement des oscillations. On obtient ce résultat par l'emploi de quatre résistances x, y, z, W, disposées comme l'indique la figure 1, et satisfaisant aux condi-

tions :

$$x = \frac{G + y}{n - 1}$$

$$y + \frac{1}{\frac{1}{x} + W + z} = W$$

$$z + \frac{G + y}{n} = G,$$

n étant le pouvoir multiplicateur du shunt. Ces équations donnent :

$$y = \frac{\left(n - 2 + \frac{1}{n}\right) GW + \left(n - 1\right) W^2 - \left(1 - \frac{1}{n}\right) G^2}{\left(n - \frac{1}{n}\right) G + W}.$$

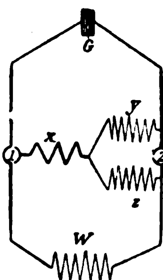


Fig. 1.

Dans le cas particulier où $W = G$, les expres-

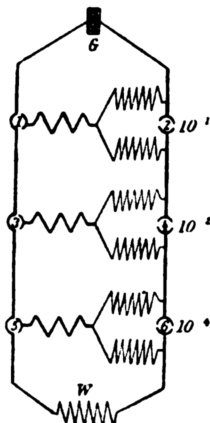


Fig. 2.

sions de x, y, z, se simplifient et se réduisent à :

$$y = \frac{n - 2 + \frac{1}{n}}{n - \frac{1}{n}} W$$

$$x = \frac{W + y}{n - 1}$$

$$z = W - \frac{W + y}{n}.$$

Avec les trois séries de résistances (fig. 2), et trois chevilles, on obtient huit degrés de sensibilité :

Chevilles en :			Sensibilité.
2	4	6	1
1	4	6	10^{-1}
2	3	6	10^{-2}
1	3	6	10^{-3}
2	4	5	10^{-4}
1	4	5	10^{-5}
2	3	5	10^{-6}
1	3	5	10^{-7}.

M. L.

Magnétomètre à torsion sans perturbation, par **F. Kohlrausch** et **L. Holborn**. *Drude's Annalen*. t. X, p. 287-304, février 1903.

L'équipage de ce magnétomètre est un système astatique, ce qui est nécessaire pour le rendre indépendant du champ magnétique terrestre [1].

---

[1] Les deux aiguilles (fig. 1) cylindriques, longues de 60 mm et ayant 7 mm de diamètre, sont maintenues par un fil de cuivre vertical de 3 mm de diamètre, sur lequel elles peuvent glisser. A cet effet, elles sont percées et fixées sur une petite gaine de cuivre, avec guide vertical et écrou de serrage. La gaine de l'aiguille inférieure porte un cercle divisé de 25 mm de diamètre se déplaçant sur un autre cercle fixé sur le fil de cuivre. Le miroir est disposé un peu au-dessus de ce cercle divisé.

Le fil de cuivre porte à son extrémité supérieure un crochet double carré qui repose sur un couteau à deux arêtes que supporte le fil de torsion. Les mêmes pièces se répètent à l'autre extrémité de ce dernier et servent à le suspendre au plafond.

Pour amortir les oscillations, l'aimant inférieur est entouré d'un cadre de cuivre formé de quatre parties. Cette subdivision permet, au besoin, de diviser l'amortisseur entre les deux aiguilles, si les courants induits dans le cuivre par les causes perturbatrices deviennent gênants.

Pour régler l'appareil, on aimante quatre cylindres d'acier coupés dans la même barre et trempés en même temps. On choisit, pour le magnétomètre, les deux cylindres dont les moments magnétiques diffèrent le moins entre eux (au plus de 0,2 p. 100). Ensuite, on règle le système astatique ainsi formé, de manière que la force directrice exercée par la terre soit la plus petite possible.

Dans cette opération, on se sert d'un fil de suspension très fin, qu'on remplace ensuite par un autre plus fort, tel que son couple de torsion soit grand par rapport au couple magnétique terrestre.

En tordant le fil de suspension, on amène l'équipage dans le méridien magnétique : cette orientation est préférable, parce que les variations des aimants ont alors la moindre influence sur la position d'équilibre, mais l'orien-

En général, les aiguilles d'un système astatique doivent être très écartées l'une de l'autre,

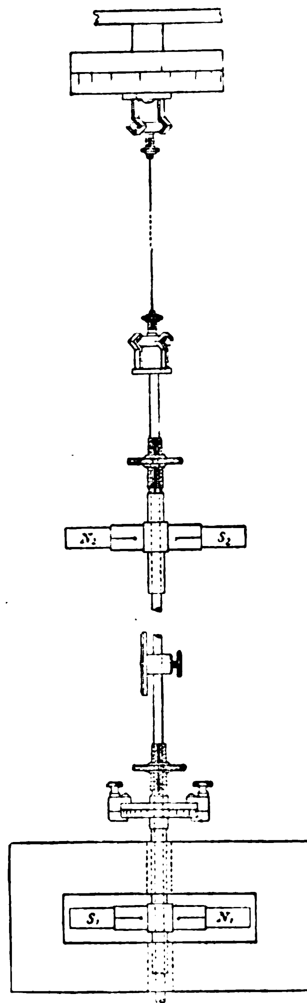


Fig. 1.

pour que l'aimant déviateur n'ait qu'une action très faible sur l'aimant correcteur du système astatique. Cette condition est beaucoup moins rigoureuse quand l'aimant déviateur est placé dans la première position principale de Gauss et dans le même plan horizontal que l'aiguille inférieure. Les lignes de force rencontrent obliquement l'aiguille supérieure et la composante horizontale qui agit sur celle-ci peut être réduite à une valeur très faible.

---

tation peut être quelconque. La règle divisée sur laquelle on déplace l'aimant ou le circuit déviateurs est disposée dans une direction perpendiculaire au méridien.

Soit h la distance verticale qui sépare les deux aiguilles, a la distance de l'aimant déviateur à l'aiguille inférieure, l'intensité résultante du champ qui agit sur le système astatique est :

$$F = \frac{2M}{a^3}\left[1 + \psi\left(\frac{a}{h}\right)\right],$$

en posant :

$$\psi\left(\frac{a}{h}\right) = \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{a}{h}\right)^3 - \left(\frac{a}{h}\right)^5}{\left[1+\left(\frac{a}{h}\right)^2\right]^{\frac{5}{2}}}.$$

La fonction $\psi\left(\frac{a}{h}\right)$ représente la correction à faire par suite de l'action du champ sur l'aiguille correctrice. Cette correction atteint son maximum (0,0179) pour $\frac{a}{h} = 0,05$, puis décroît et devient nulle pour $\frac{a}{h} = \sqrt{0,5}$, et croît ensuite rapidement en valeur absolue, mais est négative.

Si on ne veut pas que la correction dépasse 0,018, on peut faire croître la distance a jusqu'à 0,8 h, ce qui est suffisant. Pour pouvoir éloigner l'aimant déviateur à 100 cm, il faut que les deux aiguilles du système astatique soient écartées de 127 cm, ce qui est réalisable.

La formule ci-dessus ne tient pas compte de la longueur des aimants : des méthodes de calcul bien connues permettent de faire la correction.

On détermine la constante du magnétomètre en faisant agir sur l'équipage un champ magnétique connu. La valeur de cette constante peut être modifiée par les variations de l'élasticité du fil de suspension et de l'aimantation des aiguilles : ces variations sont assez lentes, si on a pris les précautions voulues ; et il suffit de déterminer la constante à d'assez longs intervalles de temps.

Le coefficient de température est très faible. Le magnétomètre ainsi construit peut être employé aussi dans une boussole des tangentes et on peut déterminer ainsi la constante : on place l'aiguille correctrice assez loin du cadre pour que l'action de ce dernier puisse être regardée comme nulle.

M. L.

ANALYSE ELECTROLYTIQUE

Sur l'existense de superoxydes électrolytiques de plomb, de nickel et de bismuth, par **A. Hollard**. *Bulletin de la Société chimique de Paris*, 1903.

Plomb. — On a toujours admis jusqu'ici que le peroxyde de plomb qui se dépose à l'anode d'une solution saline de plomb traversée par un courant est du bioxyde de plomb PbO^2, et l'on a donné comme facteur analytique permettant de passer du poids de peroxyde déposé au poids du plomb correspondant le nombre 0,866 qui représente le rapport $\frac{Pb}{PbO^2}$ des poids moléculaires du plomb et du bioxyde. Contrairement à cette assertion nous avons trouvé; 1° que le facteur analytique 0,866 est trop grand et *qu'il se dépose à l'anode, outre le bioxyde PbO^2, des oxydes plus oxygénés que PbO^2, que la proportion de ces oxydes supérieurs est d'autant plus grande que la concentration du plomb dans le bain est plus petite.*

Nous avons opéré sur une série de solutions de nitrate de plomb (obtenues avec des plombs très purs, de provenances différentes), occupant toutes le même volume (300 cm^3) et tenant en dissolution le même excès d'acide nitrique (12 cm^3 d'acide à 36°).

Les quantités de plomb contenues dans ces liqueurs variaient avec chacune d'elles, depuis quelques milligrammes jusqu'à 10 gr. Pour obtenir à l'anode des dépôts de peroxydes parfaitement adhérents et compacts, même pour de grandes quantités de plomb, nous avons employé une anode en toile de platine platiné ([1]), et nous avons introduit dans le bain une bonne quantité de nitrate de cuivre (correspondant à 10 gr de cuivre) ([2]) Ce nitrate ne déposait qu'une partie de son cuivre sur la cathode, tandis que la totalité du plomb se déposait sur l'anode à l'état de peroxydes. — Les électrodes (anode et cathode) dont nous nous sommes servi sont en platine ([1]).

Nous donnons dans le tableau suivant la moyenne de nos résultats. Chaque dépôt de peroxyde n'était pesé qu'après avoir été lavé ([2]), puis séché dans une étuve chauffée progressivement jusqu'à 200°. La colonne I donne les poids de plomb contenus dans les différents bains; la colonne II donne les facteurs analytiques correspondants $= \frac{\text{poids du plomb}}{\text{poids du peroxyde}}$

I	II	III	I	II	III
$0^{gr},0106$	0,740	0,740	$0^{gr},5$	0,851	0,850
$0^{gr},02$	0,764	0,764	1^{gr}	0,852	0,852
$0^{gr},03$	0,790	0,790	2^{gr}	0,8545	0,8545
$0^{gr},05$	0,802	0,802	$2^{gr},5$	0,855	0,855
$0^{gr},07$	0,824	0,824	3^{gr}	0,856	0,856
$0^{gr},1$	0,838	0,835	5^{gr}	0,859	0,859
$0^{gr},2$	0,842	0,843	10^{gr}	0,861	0,861

Si l'on traduit ces résultats par une courbe, en portant en abscisses les valeurs de la colonne I et en ordonnées les valeurs de la colonne II, on verra que les facteurs analytiques tendent, à mesure qu'on a affaire à des solutions de plomb plus concentrés, à se rapprocher de la valeur 0,866 qui seul correspond au bioxyde PbO^2.

Nous avons figuré dans la colonne III les points par lesquels passe la courbe. On croit qu'elle passe exactement par tous les points donnés par l'expérience à l'exception des points correspondants aux abscisses 0,1, 0,2, 0,5 gr.

Interprétation de ces résultats. — Dans l'électrolyse de toutes nos solutions, la quantité d'oxygène qui se porte à l'anode est toujours supérieure à celle que nécessite la formation du PbO^2. Cet excès d'oxygène, très faible pour les fortes concentrations en plomb, devient considérable pour les faibles concentrations; en effet la concentration de l'oxygène reste la même, quelle que soit la richesse du bain en plomb, et elle ne diminue pas pendant le cours de

([1]) La toile de platine réalise déjà une grande surface. Le platinage consiste à recouvrir électrolytiquement la toile d'une couche de platine dans un bain chargé d'acide chlorhydrique et contenant de l'oxalate d'ammoniaque. Nous obtenons ainsi une surface dont la rugosité est très apte à retenir de grandes quantités de peroxydes de plomb.

([2]) L'heureuse influence du nitrate de cuivre sur la compacité du peroxyde de plomb a été trouvée par Dandurand.

([1]) Nous les avons décrites quant à leur forme et à leurs dimensions dans le *Bull. de la Soc. Chim.*, t. XXIII, p. 291 (1900) à cela près que l'électrode tronconique qui sert ici d'anode est en toile de platine au lieu d'être en feuille de platine.

([2]) A cet effet, sans détacher les électrodes, on les plonge d'abord un instant dans un premier vase d'eau distillée, puis, tout en laissant passer le courant, dans un deuxième vase rempli d'eau distillée, pendant un quart d'heure.

l'électrolyse. On conçoit donc qu'il puisse se former des peroxydes plus oxydés que PbO^2 et que la proportion de ces peroxydes croisse avec la dilution.

Les facteurs analytiques obtenus avec les plus faibles concentrations nous montrent que ces peroxydes sont d'ordre très élevé. S'agit-il d'un seul superoxyde dont la proportion croîtrait au fur et à mesure que la solution est plus diluée, ou d'une série de superoxydes plus oxydés les uns que les autres? C'est ce que nous n'avons pas encore éclairci.

En prenant des solutions suffisamment concentrées en plomb, il n'y a pas, au début de l'électrolyse, d'excès d'oxygène par rapport au plomb, et il se forme une première couche de PbO^2, puis lorsque la concentration a diminué suffisamment par suite du dépôt du peroxyde de plomb à l'anode, il y a excès d'oxygène et par suite formation de peroxydes supérieurs en quantités qui croissent au fur et à mesure que la concentration diminue.

Cette interprétation est celle qui nous paraît la plus vraisemblable, mais il sera bon de l'af-

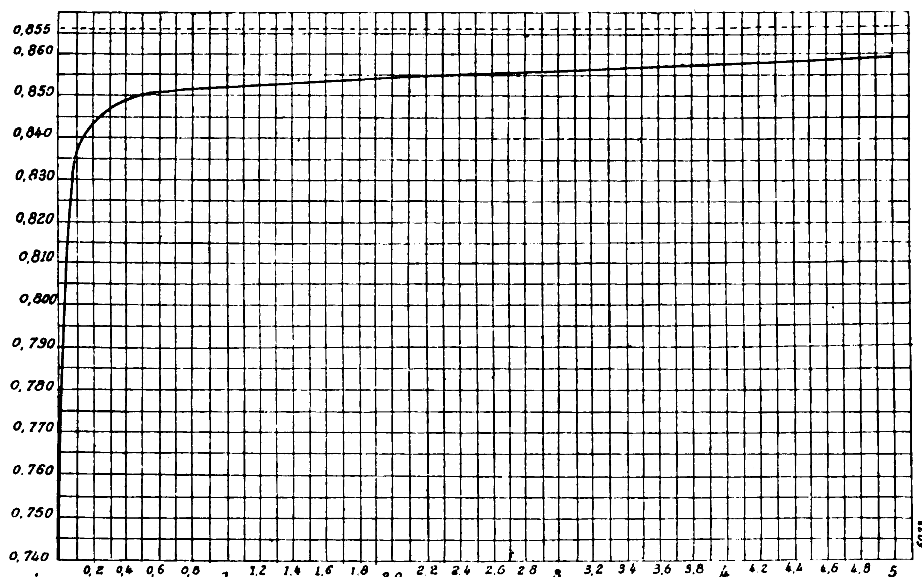


Fig. 1. — Courbe des facteurs analytiques en fonction des concentrations des solutions.

fermir encore par quelques contrôles. Deux de ces contrôles s'imposent immédiatement.

1° Faire un dépôt de peroxyde en solution qu'on maintiendra très concentrée et vérifier que le dépôt est constitué par du PbO^2.

2° Faire un dépôt de peroxyde en solution très diluée (quelques milligrammes de plomb pour 300 cm^3) en maintenant la concentration constante jusqu'à ce qu'on obtienne une couche épaisse de peroxyde, et vérifier que ce peroxyde a la même constitution que le superoxyde indiqué sur la couche pour la même concentration.

Ce qui reste indépendant de l'interprétation, c'est l'erreur grave que l'on a commis jusqu'ici en analyse électrolytique en admettant que le peroxyde de plomb électrolytique est du PbO^2 et que le facteur analytique est 0,866. La courbe et les tableaux que nous avons donnés permettront désormais d'avoir les facteurs analytiques correspondant à un grand nombre de teneurs en plomb.

Nickel. — Le plomb n'est pas le seul métal qui forme par électrolyse des peroxydes d'un ordre élevé. Le nickel en solution de pyrophosphate alcalin additionné d'acide chromique nous a donné (pour une concentration de 0,05 gr de nickel pour 300 cm^3 de bain, le bain étant à une température de 70°) un peroxyde qui, séché à 120°, correspondait à la formule NiO^4 et qui ne variait pas de poids lorsqu'on le chauffait de 120° à 170°. Le courant qui était de 0,1 ampère a passé dans le bain pendant cinquante-quatre heures [1].

[1] Nous avons omis de vérifier, s'il restait encore, au bout de ce temps, du nickel dans le bain. S'il en est resté, le peroxyde déposé correspondrait à un degré d'oxydation supérieure à NiO^4.

Bismuth. — Le bismuth nous a donné à l'anode un dépôt qui, séché à 130°, correspondait à la formule Bi^2O^7, pour une concentration de 0,05 gr de bismuth pour 350 cm³ de bain. Le bismuth était à l'état de sulfate en présence de 20 cm³ d'acide nitrique à 36° en excès et de 40 gr de sulfate de cuivre hydraté pour un volume de bain de 350 cm³. Ce dépôt de peroxyde de bismuth est de couleur jaune citron et ne change pas de poids quand on le porte à 180° (1).

Nous n'avons pas recherché si la constitution des peroxydes de nickel et de bismuth variait avec les concentrations des métaux. D'ailleurs, nous n'avons pu en déposer plus que la quantité correspondant à 0,05 gr de métal, ce qui limitait forcément cette étude.

Autres métaux. — Nous n'avons pas étudié les peroxydes d'argent et de manganèse qui sont les seuls peroxydes électrolytiques que l'on connaisse en dehors de ceux dont nous venons de parler. Si d'autres métaux ne donnent pas de peroxydes électriques, cela tient vraisemblablement à ce que leurs peroxydes ne sont pas conducteurs du courant électrique.

On peut cependant obtenir ces peroxydes en les déposant en même temps que des peroxydes conducteurs du courant. Nous sommes arrivés ainsi à déposer avec le peroxyde de plomb des peroxydes d'antimoine et d'arsenic, avec le manganèse un peroxyde de fer (2). Quel est le degré d'oxydation de ces peroxydes? C'est ce que nous n'avons pas élucidé.

(1) Ici le système d'électrode était constitué par le système Luckow modifié (*Comptes rendus*, t. CXXIII, p. 23); le cône qui servait à l'anode était devenu, par suite d'un usage prolongé et de calcinations répétées, d'une rugosité préférable encore au platine platiné.

(2) L'enchaînement du fer avec le peroxyde de manganèse a été déjà signalé par Neumann (*Analytische Elektrolyse*, p. 194).

DIVERS

Sur le vent électrique lumineux, par **E. Warburg**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 180-189, janvier 1903.

Sur une pointe négative apparaît un point brillant, qui est l'analogue de la lueur négative qu'on observe dans les tubes de Geissler. Dans l'azote pur, sous la pression atmosphérique, il semble à première vue que le phénomène soit de nature différente (1).

(1) La pointe S se trouve dans l'axe d'un cylindre de platine C relié au sol : le tout est enfermé dans une ampoule de verre G. Sous une différence de potentiel de 2 500 volts, établie par une batterie d'accumulateurs à haute tension entre la pointe et le cylindre, on obtient un courant de 0,5 milliampère. Le point lumineux apparaît à la pointe : mais en plus, on aperçoit avec quelque attention un mince faisceau lumineux qui partant de ce point brillant, se prolonge dans la direction de l'axe, s'il y a symétrie parfaite par rapport à cet axe : tantôt ce faisceau est fixe, tantôt il oscille très légèrement. Ce phénomène qui, au premier aspect, rappelle l'aigrette positive, est en réalité autre chose : c'est un vent électrique lumineux.

Le faisceau traverse une toile métallique reliée au sol : pendant qu'il oscille autour de l'axe, on voit se déplacer un nuage lumineux.

Le gaz reste quelques instants lumineux après que le courant a cessé ; cette luminescence résiduelle dure jusqu'à deux secondes. Elle ne s'observe pas seulement dans les gaz à la pression atmosphérique, mais aussi dans les tubes de Geissler; elle résulte d'ailleurs non pas du phénomène électrique proprement dit, mais d'une modification chimique du gaz. La production du vent électrique lumineux s'explique donc comme il suit : le gaz, voisin de la pointe, électrisé dans le même sens que cette pointe, en est repoussé par la force électrique et forme le vent : en même temps, il subit une tranformation chimique sous l'action du courant et devient luminescent.

Les expériences ne permettent pas de décider si ce faisceau transporte avec lui une quantité appréciable d'électricité : en tout cas, cette quantité ne serait qu'une fraction très faible de celle qui s'échappe par la pointe.

D'après l'étude spectrale, la luminescence observée ne peut être attribuée à l'azote seul. Les phénomènes subsistent, quoiqu'affaiblis, quand on a introduit dans le récipient du sodium électrolytique. Cependant, il semble bien que les apparences lumineuses sont dues à la présence d'une trace d'oxygène, que le traitement par le sodium n'a pu éliminer complètement. Lorsque la proportion d'oxygène augmente, le faisceau lumineux disparaît encore. Quand on enlève l'oxygène de l'azote par le cuivre incandescent, la différence de potentiel négative minima diminue ; mais si on purifie davantage l'azote par le sodium, on n'observe pas de diminution nouvelle.

Tandis que le vent électrique se limite à la région très rapprochée de l'axe, le courant de convection remplit un angle solide qui dépasse une demi-sphère. M. L.

Expériences de cours sur les oscillations électriques, par **L. Zehnder**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 899-918, décembre 1902.

1. *Expériences de Feddersen.* — Ces expériences peuvent se répéter facilement et être montrées à tout un auditoire au moyen du dispositif représenté par la figure 1.

Pour séparer et par suite analyser les décharges successives, on peut aussi employer une disposition analogue à celle des parafoudres à cornes : (fig. 2). On lance un fort courant d'air entre les cornes, de manière à déplacer rapidement l'étincelle.

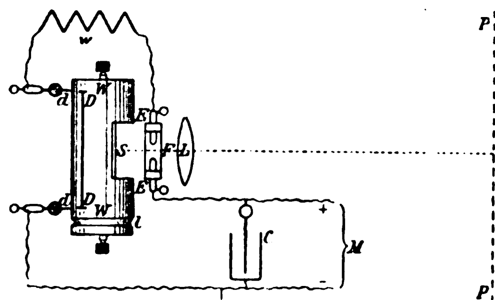


Fig. 1.
M, source d'électricité ; C, condensateur ; W, cylindre isolant sur lequel est fixé le miroir S ; D_1D, fil métallique tendu sur le cylindre et fermant en *dd* le circuit de décharge du condensateur, au moment où le miroir S et la lentille L projettent l'étincelle sur l'écran PP : E,E, tiges de fer à extrémité arrondie formant les pôles de l'étincelle.

celle. Le même appareil peut servir à montrer l'action d'un champ magnétique sur la décharge : il suffit de placer le pôle d'un fort aimant à la hauteur de la plus courte distance *aa* entre les deux électrodes.

2. *Oscillations hertziennes.* — L'auteur a réduit à 2,5 ou 3 cm, la longueur intérieure des électrodes de son tube indicateur d'ondes. De plus, en disposant ces électrodes obliquement l'une sur l'autre, il a pu réduire leur écartement

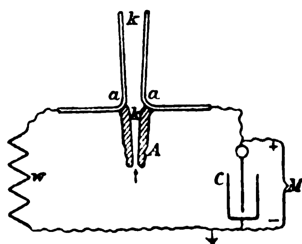


Fig. 2. — Parafoudre à cornes pour l'analyse des décharges.

extérieur et par suite la longueur du fil qui les réunit pour constituer le résonateur. Il est possible ainsi de mesurer des longueurs d'onde beaucoup plus courtes. Ces modifications ont nécessité une augmentation du volume de l'ampoule dans laquelle se produit l'étincelle secondaire. Les nouveaux tubes sont plus sensibles et leur luminescence est plus brillante. Aussi l'étincelle secondaire peut être vue à plusieurs mètres de distance, même sans le secours d'une batterie d'accumulateurs à haute tension.

Il est aisé également de faire voir les ondes stationnaires qui se produisent dans un système de Lecher. On dispose autour de l'un des fils une petite boucle en fil d'aluminium reliée à l'électrode isolée du fil (électrode qui a servi à produire le sodium par l'électrolyse).

Pour comparer simultanément ou du moins en très peu de temps l'action d'un excitateur sur des résonateurs différents et s'affranchir des

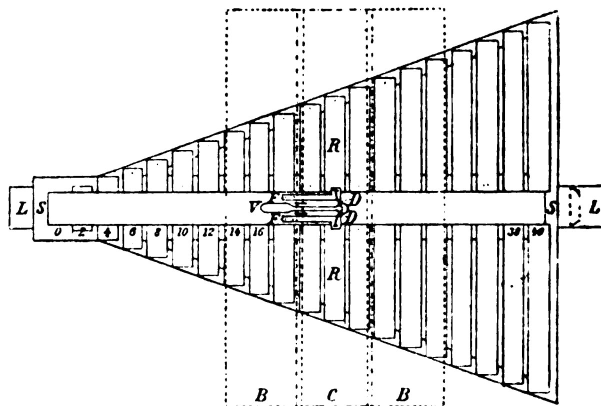


Fig. 3. — Dispositif Zehnder pour comparer l'action d'un excitateur sur des résonateurs différents.

variations d'intensité de l'excitateur, M. Zehnder réunit une série de résonateurs (fig. 3) sur une planche SS qui se déplace à frottement doux sur une règle de bois LL. L'indicateur d'ondes est fixé dans une position invariable sur cette règle : ses deux extrémités sont mises en communication avec les deux moitiés du résonateur par deux fils de cuivre DD que des ressorts d'ébonite FF appuient sur le résonateur.

L'indicateur d'ondes peut être un micromètre à étincelles, un élément thermoélectrique, un bolomètre, un électromètre ou le tube à gaz raréfié, disposé de manière que son axe soit perpendiculaire à la direction des vibrations. En déplaçant le curseur de manière à amener successivement les résonateurs en communication avec l'indicateur, on détermine facilement celui qui donne la meilleure résonance. En limitant les oscillations par deux écrans métalliques parallèles, placés entre l'excitateur et le résonateur, on obtient qu'un seul résonateur reçoive ces oscillations dans toute leur intensité.

Avec ce système, il est aisé de répéter même dans un cours les expériences sur l'interférence des ondes électriques. M. L.

Quelques expériences sur l'aimantation par les oscillations électriques très rapides, par **F. Braun.** *Drude's Annalen*, t. X. p. 326-334, février 1903.

L'aimantation du fer peut suivre les oscillations électriques très rapides (période : 5.10^{-6} sec). On s'en assure en mettant dans l'intérieur d'une bobine un verre de Bohême rempli de fer pulvérulent.

Le fer porphyrisé ou le fer réduit par l'hydrogène donnent de bons résultats, mais avec la limaille de fer, même passée au tamis très fin, on n'obtient aucun effet. Il est bon d'humecter la poudre avec un isolant tel que l'huile de vaseline : mais cette précaution n'est pas indispensable, la poudre sèche, offre déjà une résistance suffisante aux courants de Foucault.

Expériences. — Deux bouteilles de Leyde (de 1800 cm³ de capacité) se déchargent à travers une bobine primaire P_1 (fig. 1). Cette bobine comprend 4 spires de 9,5 cm de diamètre moyen d'un fil isolé au caoutchouc : elle est entourée d'une bobine secondaire comprenant huit spires du même fil; le diamètre des spires est de 13 cm. Sur le circuit secondaire est intercalé ou un thermomètre de Riess Th ou un exploseur. Quand on introduit dans la bobine primaire le verre de poudre de fer, l'indication du thermomètre augmente de moitié.

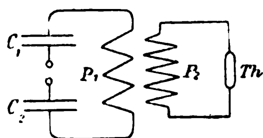


Fig. 1.

On pourrait attribuer cette variation à un changement de période du circuit primaire : mais cette explication ne concorde pas avec l'expérience suivante. On dispose dans le circuit primaire deux bobines identiques entourées de deux bobines secondaires identiques (fig. 2). Quand les deux sont en opposition, le thermomètre n'éprouve qu'un déplacement insignifiant. Le déplacement devient notable quand on introduit le fer dans l'une des bobines primaires.

L'emploi du fer porphyrisé permet aussi de tracer un circuit magnétique plus perméable que l'air aux lignes de force magnétiques provenant des oscillations.

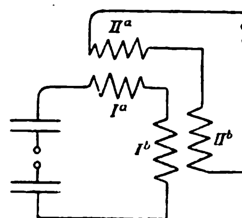


Fig. 2.

Une bobine secondaire II (fig. 3) est disposée au-dessus de la bobine primaire I, de façon que leurs axes coïncident. Un tube de verre fermé à une extrémité renferme du fer porphyrisé sur une hauteur égale à la longueur de l'une des bobines. On plonge ce tube dans l'intérieur des bobines de manière que le fer se trouve tout entier à l'intérieur de la bobine primaire et on règle l'écartement des boules de l'exploseur F_2, de manière qu'il ne passe plus d'étincelles. Si on soulève ensuite le tube de manière que le fer soit en partie dans l'une, en partie dans l'autre bobine, il se produit de vives étincelles : elles disparaissent de nouveau quand tout le fer se trouve dans la bobine II.

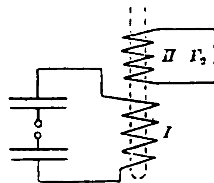


Fig. 3.

Les oscillations font disparaître le magnétisme rémanent qui peut subsister dans la poudre de fer. En plaçant le tube contenant cette poudre dans l'intérieur d'une bobine magnétisante, on provoque la formation de houppes, qui sont très peu sensibles aux secousses mécaniques. Ces houppes se détruisent dès qu'on introduit le fer dans le primaire du circuit des oscillations.

Comme il est aisé de le vérifier, l'aimantation pénètre jusqu'à l'intérieur de la masse.

La perte d'énergie par les courants de Foucault est beaucoup plus faible qu'on ne s'y attendrait : ce qui est dû sans doute à la très grande

résistance des circuits que doivent parcourir ces courants. Il ne semble pas que cette résistance soit amoindrie par des phénomènes analogues à ceux des cohéreurs. Cependant cette perte d'énergie est notable, comme on peut s'en assurer en construisant la courbe de résonance du circuit primaire avec et sans fer dans la bobine. La courbe est plus affaissée quand on introduit du fer qu'elle ne le serait par l'introduction d'une self-induction 3 ou 4 fois plus grande que celle de la bobine magnétisante. En d'autres termes la perméabilité du fer dans ces conditions est de 3 à 4. Si on emploie, au lieu de fer pur, un mélange peu riche en fer, l'induction magnétique est moindre et aussi la dépense d'énergie.

Dans ces expériences le fer finement divisé augmente par sa présence l'induction mutuelle et malgré la perte d'énergie qu'il occasionne, son emploi peut être avantageux. Cependant, il y a une différence entre ce système et les transformateurs ordinaires. Ici la quantité d'énergie disponible est donnée, tandis que dans un transformateur le circuit primaire emprunte d'autant plus d'énergie à la source que le secondaire en dépense davantage.

En outre l'emploi du fer permet de localiser l'énergie magnétique en certaines régions aux dépens des autres.

Un métal finement divisé et mélangé à un diélectrique forme un milieu dont le pouvoir inducteur est très élevé (40 à 80 avec le fer). En entourant des fils d'un tel mélange, on peut sans changer la période réduire beaucoup la vitesse de propagation et par suite la longueur d'onde des oscillations.

Ce serait un moyen de réduire les pertes par rayonnement, qui se produisent, dans la télégraphie hertzienne, par exemple, quand on remplace une longueur d'onde par des fils tendus. Ces fils rayonnent de l'énergie et cela souvent en des endroits où l'on voudrait l'éviter.

Si par ce moyen on diminue la longueur d'onde, on se rapprocherait d'autant plus des conditions de l'optique géométrique et faciliterait ainsi beaucoup les expériences sur la réflexion et la réfraction des ondes électriques.

M. L.

Mesures de l'intensité des rayons de Rœntgen, par **Schoeps**, **Leininger**, **Holtsmark**.

Mesures bolométriques [1]. — D'après les expériences de Dorn, les rayons de Rœntgen absorbés dans un métal, lui cèdent leur énergie sous forme d'énergie calorifique. Sur les indications de Dorn, Schoeps a utilisé ce phénomène pour mesurer l'intensité des rayons de Roentgen. Sa méthode consiste à prendre comme surface absorbante celle d'un bolomètre et à déterminer par les procédés connus la quantité de chaleur reçue par ce bolomètre.

Le bolomètre est construit sur le modèle de ceux de Lummer et de Kurlbaum : seulement l'épaisseur des bandes de platine a été portée à 0,02 mm afin d'assurer l'absorption des rayons de Rœntgen. D'autre part, l'enduit de noir de fumée est supprimé, pour diminuer la perte par émission de la chaleur reçue.

La résistance du bolomètre est partagée en quatre parties égales qui forment les quatre branches d'un réseau de Wheatstone. Dans chaque expérience, on soumet à l'action des rayons deux branches conjuguées.

Le galvanomètre est un galvanomètre Thomson, construit par Carpentier, dans lequel, pour les expériences définitives, l'équipage magnétique est remplacé par un autre plus léger et de moment magnétique plus élevé (d'après Paschen) ; suspendu à un fil d'araignée.

Pour déterminer le coefficient de la perte par émission, on mesure la déviation du galvanomètre obtenue en apportant au bolomètre une quantité de chaleur connue, soit par une augmentation de l'intensité du courant principal dans le réseau de Wheatstone, soit par un courant alternatif.

L'absorption des rayons dans le platine du bolomètre n'est pas complète : on évalue par la méthode électrométrique la fraction qui échappe à l'absorption.

Leininger [2] n'a réussi à mettre en évidence aucun effet calorifique des rayons Rœntgen.

Mesures électrométriques appliquées aux rayons secondaires [3]. — MM. Curie et Sagnac

(1) Schoeps, *Inaug. Diss.*, Halle 1899.

(2) Leininger, *Phys. Zeitsch.*, t. II, p. 691-693, 1901.

(3) Holtsmark, *Drude's Annalen*, t. X, p. 523-543, mars 1903.

ont montré que les rayons secondaires, qu'émet un métal frappé par les rayons de Rœntgen, transportent des charges négatives. M. Holtsmark définit l'intensité des rayons de Rœntgen par la quantité d'électricité que transportent les rayons secondaires auxquels ils donnent naissance.

Une lame de platine (10 × 2 cm) est disposée dans un tube de verre de 3,5 cm de diamètre où on a fait le vide le plus complet possible. Par un fil de platine scellé dans le verre, cette lame est mise en communication métallique avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre. Les rayons secondaires émis par le platine quand il reçoit les rayons de Rœntgen portent leurs charges négatives sur les parois du tube, tandis que la lame elle-même prend une charge positive. Cette charge positive se rend dans la paire de quadrants et de là dans le sol auxquels ces quadrants sont reliés par l'intermédiaire d'une très grande résistance : l'autre paire de quadrants est reliée au sol directement. La grande résistance est constituée par une baguette d'émail de 2 mm de diamètre, sur une longueur de 1 mm environ : elle vaut à peu près 6 103 ohms.

L'électromètre mesure ainsi la différence de potentiel entre les deux extrémités de cette résistance, laquelle différence est proportionnelle à l'intensité du courant.

Ses indications, aux erreurs d'observation près, sont inversement proportionnelles au carré de la distance qui sépare le tube de Rœntgen de la lame de platine. On peut donc les regarder comme proportionnelles à l'intensité des rayons de Rœntgen.

Absorption des rayons. — Le coefficient d'absorption α est déterminé par la condition que $e^{-\alpha d}$ représente l'intensité du faisceau qui a traversé une épaisseur d de la substance absorbante, l'intensité du faisceau incident étant prise pour unité.

D'une manière générale, les rayons provenant d'un tube dur sont moins absorbables que les rayons émis par un tube mou. Le coefficient d'absorption décroît quand l'épaisseur augmente : les rayons sont donc un mélange de rayons plus ou moins absorbables : cette diminution n'est d'ailleurs pas uniforme. Dans les dissolutions, l'absorption croît plus lentement que la concentration.

L'absorption exercée par une masse déterminée d'un métal, est la même que ce métal soit sous forme de lame ou sous forme de sel dissous.

Quand on a déterminé ainsi le coefficient d'absorption, des formules de dispersion de Helmholtz permettent de calculer la longueur d'onde des rayons correspondants. En utilisant les constantes trouvées par Drude pour les métaux, on arrive à des longueurs d'onde comprises entre 0,0069 et 0,00065 μ.

Pour l'or, l'argent et le cuivre, les nombres sont d'un tout autre ordre de grandeur : ce qui résulte de la dispersion anomale de ces corps dans les régions rouge et jaune du spectre.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de londres

Séance du 11 décembre 1902.

La photométrie des lampes électriques, par le Dr **J. A. Fleming**. M.A., F. R. S., d'après *Electrical Review* (Londres), t. LII, nos des 2, 9, 16, 23, et 30 janvier 1902.

Le sujet se divise naturellement de la manière suivante :

I. — Etalons;

II. — Méthodes de mesure;

III. — Considérations spéciales sur la photomètrie hétérochromatique;

IV. — Conventions internationales sur les étalons de lumière et les procédés d'essai.

I. Étalons. — Quoique la bougie de blanc de baleine, de six à la livre, soit encore l'étalon lumineux légal du Royaume-Uni, elle est abandonnée de fait depuis que les arbitres du Gaz Métropolitain ont adopté la lampe de dix bougies Vernon-Harcourt, brûlant du penthane.

L'expérience montre d'ailleurs que les bougies étalons sont inférieures aux autres étalons à flamme brûlant un combustible liquide.

Etalons à flamme. — Un étalon à flamme doit remplir trois conditions :

1° Le combustible doit avoir une composition chimique constante et bien définie ; il doit être facile à obtenir pur.

2° Sa combustion doit pouvoir s'opérer simplement et être facile à diriger.

3° Les changements inévitables dans la pression et la composition de l'atmosphère ne doivent pas affecter sensiblement la nature de la flamme.

Il doit enfin être facilement transportable, ce qui exclut tout étalon à gaz de houille.

Trois étalons à flamme sont aujourd'hui en présence :

1° L'étalon au penthane de 1 bougie.

2° La lampe au penthane de 10 bougies.

3° La lampe à acétate d'amyle.

Le penthane, liquide très volatil et très inflammable, à pour formule C^5H^{12}. On l'extrait du pétrole dans des conditions fixées par les arbitres du Gaz. Il faut vérifier avec soin sa composition. La lampe de 1 bougie de M. Vernon-Harcourt donne une flamme jaune pâle dont l'intensité lumineuse est égale à celle de la bougie étalon anglaise, mais beaucoup plus constante. Dans cette lampe, comme dans celle de 10 bougies, la variation des quantités de vapeur d'eau et d'acide carbonique de l'atmosphère nécessitent certaines corrections.

La lampe Hefner est un étalon à flamme dont l'usage est très répandu, surtout en Allemagne. Elle brûle de l'acétate d'amyle, dont la formule est $C^7H^{14}O^2$. Le rapport de son intensité lumineuse à celle de la bougie anglaise est environ 0,88. Le principal inconvénient de cette lampe est la couleur rougeâtre de sa lumière, qui la rend tout à fait impropre à la photométrie de l'arc et donne lieu à des difficultés d'hétérochromatisme dans l'étalonnage des lampes à incandescence. L'influence sur sa luminosité de la quantité d'acide carbonique présente dans l'atmosphère est fort importante.

Etalons à incandescence. — Les seuls qu'on ait réalisés dans cette catégorie sont ceux qui emploient le platine ou le carbone portés à une température élevée. M. Violle a proposé en 1881, de prendre pour unité de lumière la lumière émise normalement par un centimètre carré de platine à la température de fusion. Le Congrès international des Electriciens de 1889 a décidé que l'unité pratique de lumière serait le vingtième de l'étalon Violle.

D'une étude approfondie qu'il a faite de cet étalon, M. J.-E. Petavel a conclu que, dans les conditions déterminées, la variation probable de la lumière émise par le platine en fusion ne dépasse pas 1 p. 100. Nous sommes donc fondés à croire que l'étalon au platine est le meilleur qu'on puisse obtenir, mais il est évident qu'on ne peut le réaliser que dans un petit nombre de laboratoires.

Pendant les dix-huit années qu'il a passées à la Compagnie d'Eclairage Electrique Edison et Swan, l'auteur s'est occupé de l'emploi des lampes électriques à filament de charbon comme étalons lumineux. Mais le pouvoir éclairant de ces lampes, même à différence de potentiel constante, varie pour trois raisons :

1° Variation de résistance électrique du filament.

2° Changements dans la nature de la surface du filament.

3° Dépôt de charbon sur la surface intérieure de l'ampoule.

L'auteur a pu écarter ces inconvénients par des procédés qu'il indique et dont nous résumons en note (1) la description.

M. Swinburne, le professeur S. P. Thompson, M. Blondel et d'autres ont proposé de choisir comme étalon d'intensité lumineuse, la lumière émise par un millimètre carré du cratère de la

(1) On sait que le pouvoir éclairant des lampes à incandescence neuves s'accroît pendant une courte période après la mise en service, en raison de la diminution de résistance du filament. Mais quand on a fait brûler une lampe pendant 50 heures environ à son voltage normal ou à un voltage un peu supérieur, le filament atteint un état qui n'est plus affecté par un nouvel usage de peu de durée. A ce moment, le verre de l'ampoule est légèrement noirci par le dépôt de charbon. Ce dépôt est dû à des particules de carbone projetées par le filament. L'auteur a eu l'idée de placer les filaments ainsi traités dans des ampoules de rayon beaucoup plus grand que la distance moyenne à laquelle sont projetées les molécules ; on évite ainsi le dépôt noircissant. Ces ampoules ont 15 ou 18 centimètres de diamètre. Les essais effectués par l'auteur lui ont montré que les lampes ainsi constituées sont des étalons fort exacts, quand on a soin de régler la tension de fonctionnement au moyen d'un potentiomètre et d'une pile étalon Clark ou Weston.

lampe à arc. Mais les mesures de l'état intrinsèque du cratère faites par des observations différentes ne concordent pas très bien, et cette source de lumière ne paraît pas devoir remplir toutes les conditions qu'on exige d'un étalon.

Il existe donc aujourd'hui cinq sources de lumière qui peuvent fournir un étalon d'intensité lumineuse avec une approximation de 1 p. 100 ou moins. Deux sont des étalons absolus, ce sont :

1° L'étalon Violle au platine ;

2° La lampe au penthane de 1 bougie;

Les trois autres sont des étalons pratiques :

3° La lampe Hefner à acétate d'amyle ;

4° La lampe de 10 bougies au penthane ;

5° La lampe électrique à grande ampoule Fleming-Ediswan.

La lampe Hefner est inférieure aux deux autres par la qualité de sa lumière.

II. Méthodes de mesures photométriques. — Une mesure photométrique consiste à comparer l'éclat de deux surfaces blanches dont l'une est éclairée uniquement par la source lumineuse essayée et l'autre par une source étalon et à régler la distance des sources de façon à obtenir l'égalité d'éclat ou d'éclairement. On obtient des surfaces blanches convenables aux usages photométriques en fabriquant des plaques de carbonate de magnésie ou de sulfate de baryte conprimé.

Dans le photomètre Lummer-Brodhun, une de ces plaques est éclairée sur ses deux côtés

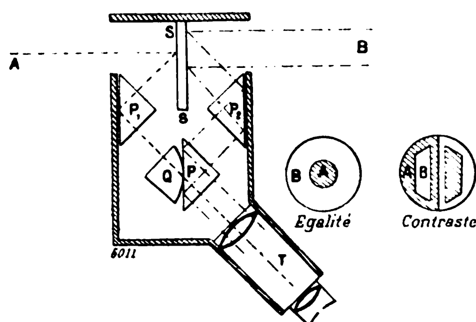


Fig. 1. — Photométre Lummer-Brodhun.
S, Écran ; P_1, P_2, prismes à réflexion totale ; Q, P, prisme Lummer-Brodhun ; T, lunette.

par les deux lumières à comparer (fig. 1). Au moyen de deux prismes à réflexion totale P_1 et P_2, la lumière diffusée par les deux côtés de l'écran est envoyée dans un système optique formé par deux prismes rectangulaires P et Q.

Si l'on regarde ces prismes à travers une lunette T, on voit le champ de vision divisé en deux parties, éclairées chacune par une des sources lumineuses. En modifiant la distance de celle-ci à l'écran, on amène à l'égalité l'éclat de ces deux parties. Si les lumières sont hétérochromatiques, l'observateur doit apprécier l'égalité d'éclat de deux taches colorées sans considérer leur différence de teinte.

L'auteur a imaginé une modification de ce photomètre, dans laquelle les deux lumières, A et B (fig. 2) à comparer sont l'une en face de

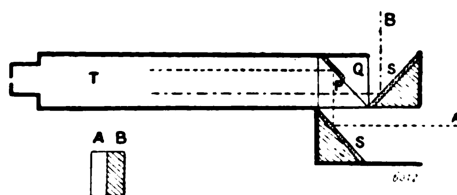


Fig. 2. — Photomètre Fleming à réflexion totale.
P, Q, prismes rectangulaires ; T, tube ; S, S, écrans blancs ; A B, champ visuel (divisé en deux parties respectivemen éclairées par les lumières A et B.)

l'étui des prismes, l'autre à côté. Cet appareil a certains avantages pour l'essai des lampes à arc.

Les photomètres se divisent en trois classes principales :

A. Photomètres d'intensité, par lesquels on compare l'intensité de deux sources lumineuses.

B. Photomètres d'éclairement, par lesquels on mesure l'éclairement en une région donnée en *bougies-pieds*, par exemple.

C. Spectrophotomètres, avec lesquels des rayons choisis dans les spectres de deux lumières sont comparés au point de vue de l'intensité.

Pour la photométrie des lampes électriques à incandescence, le photomètre Lummer-Brodhun est le meilleur que connaisse l'auteur. Habilement manié, il décèle une différence de 1/2 p. 100 dans les intensités lumineuses de deux sources. Nous résumons en note [1] les indications prati-

[1] La condition fondamentale à remplir, c'est que l'écran du photomètre ne reçoive aucune autre lumière que celle qui vient directement des sources à comparer. En second lieu, si l'on emploie un étalon à flamme, il faut maintenir dans la salle une température constante et assurer une bonne ventilation. Les dimensions de cette salle doivent être au moins 2,50 m en largeur, 3 m en

ques données par l'auteur sur la photométrie de ces lampes.

Passant à la photométrie des lampes à arc, l'auteur décrit la disposition qu'il a trouvé pratique pour déterminer la courbe polaire d'intensité lumineuse de ces lampes.

La lampe à arc est suspendue à un échafaudage en bois d'environ 2,75 m de haut et 90 cm de large. Dans les montants de cet échafaudage sont deux ouvertures à travers lesquelles passent des paliers de bronze à tourillons évidés. La lampe est placée de telle sorte que l'arc A soit exactement au niveau de ces tourillons évidés, qui supportent un autre cadre rectangulaire (fig. 4). A l'extérieur d'un des montants est un cadran divisé en degrés, sur lequel un index fixé au cadre mobile indique l'angle que fait celui-ci avec l'horizon. Le cadre mobile porte trois miroirs plans, I_1, I_2, I_3 faisant entre eux des angles de 45° ; ils reçoivent le rayon émis par l'arc et le réfléchissent à travers un des tourillons creux. Le rayon sort donc toujours dans la même direction, quelle que soit la position du cadre mobile, qui peut être placé de manière à recevoir un rayon émis dans une direction quelconque au-dessus ou au-dessous de l'horizon. On mesure facilement, au moyen d'une lampe à incandescence étalon, la perte constante de lumière causée par les trois réflexions On peut alors, par l'emploi d'un photomètre et d'une lampe à incandescence étalon, déterminer l'intensité lumineuse de l'arc dans une direction quelconque. Comme la mesure directe est souvent rendue difficile par les changements de position de l'arc, on le photomètre par rapport à lui-même,

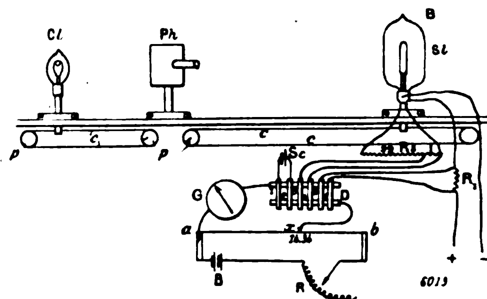


Fig. 3. — Disposition du banc photométrique et du potentiomètre.

Cl, lampe de comparaison; *Ph*, photomètre Lummer-Brodhun ; *a b*, fil potentiométrique ; G, galvanomètre ; Sc, pile étalon ; R_2, résistance graduée pour la détermination du voltage ; *Sl*, lampe étalon ; *p*, *p*, poulies ; *c*, *c*, cordelettes sans fin ; B. batterie ; R, rhéostat ; R_1, résistance en série ; D, interrupteur à fiches.

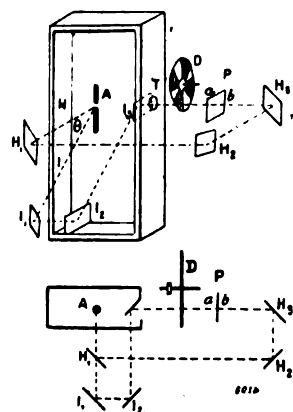


Fig. 4. — Photomètre pour lampes à arc (Fleming).

A, lampe à arc ; H_1, H_2, H_3, I_1, I_2, I_3, miroirs ; D, disque tournant ; P, écran photométrique.

---

hauteur et 6 m en longueur ; l'intérieur doit être peint en noir mat. On place au milieu un banc de bois, composé de deux poutres sur lesquelles peuvent glisser facilement les tablettes servant de supports à la lampe en essai, à la lampe étalon et au photomètre. Au laboratoire d'électricité de l' « University College », à Londres, on a adopté, d'après les conseils de l'auteur, les dispositions suivantes. On emploie le photomètre Lummer-Brodhun, fixé au banc dans une position invariable. A gauche, sur une tablette mobile, est une lampe à incandescence, appelée *lampe de comparaison* (fig. 3), dont on peut faire varier le voltage et par suite le pouvoir éclairant au moyen d'un rhéostat. A la tablette mobile de droite est adapté un support destiné à la lampe en essai et permettant de placer l'axe de celle-ci dans une direction quelconque ou de la faire tourner sur son axe au moyen d'un petit moteur électrique. Les deux tablettes se meuvent au moyen de cordelettes sans fin. Sous le banc sont placées les résistances de réglage de la lampe en essai. Pour la mesure des quantités électriques, on emploie le potentiomètre à lecture directe, qui donne des résultats plus exacts qu'aucun voltmètre ou ampèremètre. On place, pour faire une mesure, une lampe à incandescence étalon à grande ampoule dans le support d'essai, l'axe vertical, à une distance de 1,20 m de l'écran, puis on déplace la lampe de comparaison jusqu'à l'égalité d'éclairement. On remplace alors la lampe étalon par la lampe en essai. Pour éliminer les inégalités de pouvoir éclairant qui se manifestent dans les différentes directions horizontales, l'*American Institute of Electrical Engineers* recommande de faire tourner la lampe en essai sur son axe vertical. Avec les filaments longs et fins, il ne faut pas dépasser une vitesse de deux tours par seconde. En tous cas il faut déterminer le maximum et le minimum du pouvoir éclairant dans le plan horizontal et aussi le pouvoir éclairant dans l'axe de la lampe.

c'est-à-dire qu'on compare un rayon émis dans une direction quelconque à un rayon horizontal. On se sert pour cela de trois autres miroirs H_1, H_2, H_3 qui réfléchissent un rayon émis horizontalement par l'arc. Les deux rayons subissent donc chacun trois réflexions à 45° et leur direction finale est la même. Il faut maintenant déterminer le rapport de leurs intensités ; on aura recours, par exemple, à l'appareil imaginé par Fox-Talbot et employé par sir W. de W. Abney, qui consiste en un disque métallique tournant, ayant des secteurs évidés. Ces ouvertures peuvent être élargies ou rétrécies pendant

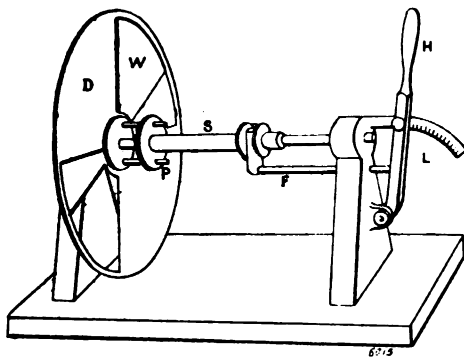


Fig. 5. — Disque à ouvertures variables de Fox Talbot-Abney.

que le disque est en rotation (fig. 5). Si on dispose un de ces disques sur le trajet de chaque rayon, on peut diminuer l'éclat du plus brillant jusqu'à ce qu'ils aient la même intensité, ce dont on jugera à l'aide d'un photomètre de Rumford ou de Foucault [1]. Une observation faite par comparaison avec une lampe à incandescence étalon permettra de déterminer l'intensité lumineuse absolue dans la direction horizontale. On pourra alors tracer la courbe polaire d'intensité lumineuse. Les fabricants de lampes à arc devraient fournir cette courbe avec leurs appareils, car elle permet de déterminer aussitôt l'intensité moyenne sphérique et aussi l'éclairement qu'on obtient à la surface du sol en plaçant à des hauteurs données un certain nombre de lampes. L'auteur rappelle les constructions géométriques (la première est connue sous le nom de graphique de Rousseau) par lesquelles on détermine ces deux quantités.

III. Photométrie hétérochromatique. — Deux lumières peuvent être *isochromatiques* ou *hétérochromatiques*. On définit ces termes de la façon suivante :

Deux lumières étant données, on les décompose et on modifie l'intensité de l'une d'elles de façon que dans une région quelconque, le jaune par exemple, leurs spectres aient le même éclat. Si à ce moment les autres régions correspondantes des deux spectres ont aussi le même éclat, les lumières sont dites isochromatiques. Dans le cas contraire, elles sont hétérochromatiques. Si par exemple on forme les spectres d'une bougie et d'une lampe à arc et qu'on les amène à la même intensité dans le jaune, le spectre de la bougie sera le plus brillant des deux dans le rouge, mais le spectre de l'arc sera de beaucoup le plus brillant dans le violet.

Or l'œil humain possède deux facultés relatives aux deux qualités principales d'un rayon lumineux, la faculté de distinguer la couleur et celle d'apprécier l'éclat. Cette dernière appréciation est d'autant plus difficile que les deux lumières comparées se rapprochent davantage des lumières pures du spectre. Aussi a-t-on proposé de mettre en œuvre, pour la photométrie hétérochromatique (par exemple l'arc électrique comparé à une bougie) une autre faculté de l'œil, celle de distinguer les formes et les détails. Ainsi la faculté de distinguer un certain nombre de lignes tracées en noir sur fond blanc et sous-tendant des angles visuels connus, peut servir à mesurer l'éclairement d'une surface. Il y a cependant une difficulté pratique causée par l'aptitude réflexe de la pupille à modifier son ouverture selon l'éclairement de l'objet perçu.

Il est certain qu'au point de vue de la perception des couleurs, on ne peut comparer scientifiquement l'arc électrique à la bougie. Mais si l'on sépare la sensation d'éclat de celle de couleur, on pourra déterminer le pouvoir éclairant d'un arc en fonction de celui d'une bougie, d'après l'éclairement qu'ils produiront sur une surface blanche. Il faut donc définir ce qu'on entend par cet éclairement. C'est pourquoi on définit le rapport de deux sources de lumière hétérochromatiques par la netteté qu'elles donnent aux détails.

[1] On s'est souvent demandé si le disque de Fox-Talbot réduit l'intensité du rayon dans le rapport de l'angle d'évidement à la circonférence totale. Des expériences faites au laboratoire Pender par M. W.-C. Clinton permettent d'affirmer qu'il en est bien ainsi.

Ceci exige qu'on adopte un étalon de perception distincte. On trouve dans le commerce un calicot noir sur lequel sont imprimées des taches blanches de 2 mm de diamètre, placées à intervalles égaux. En prenant des photographies de cette étoffe, on peut obtenir des images formées de taches noires sur fond blanc et telles que si on les regarde d'une distance de 25 cm (distance de vision distincte), le diamètre des taches soustend un angle de 1'. En plaçant deux de ces photographies sur les deux côtés d'un dièdre de Ritchie [1] on égalisera les éclairements des deux faces, non d'après leur éclat, mais d'après les détails que ces éclairements pourront y faire apparaître.

Ainsi appliquée, cette méthode paraît d'abord peu précise. On peut faire subir à l'un des éclairements des variations qu'un photomètre ordinaire décélerait aussitôt, sans altérer sensiblement la perception des détails. Ce fait est certainement une conséquence de l'accommodation réflexe de la pupille aux différents éclairements. L'auteur a constaté qu'on supprime presque entièrement cette difficulté par le simple dispositif suivant : on place devant l'œil une mince plaque métallique percée d'un trou de 1 millimètre de diamètre à travers lequel on regarde l'écran photométrique. Les variations d'ouverture de la pupille ne peuvent ainsi influer sur la quantité de lumière qui pénètre dans l'œil. On constate en effet que la modification progressive de l'éclairement fait apparaître ou disparaître très brusquement, à un certain moment, la perception des taches noires.

La réalisation la plus commode de ce qu'on peut appeler un *photomètre à perception distincte* consiste en un tube de bronze, portant à l'une de ces extrémités la plaque à œilleton, à travers lequel on observe une dièdre de Ritchie, dont les deux faces sont recouvertes de papier noir mat portant des lignes ou des taches blanches. Ces lignes ou taches, observées d'une distance de 25 centimètres, sous-tendent un angle visuel de 1'. On dira que deux lumières produisent sur l'écran des éclairements égaux, quand on pourra distinguer les détails avec la même netteté sur les deux faces.

[1] Le dièdre de Ritchie est un écran en forme de dièdre droit dont les deux faces sont éclairées par les deux sources lumineuses à comparer.

Avant de pouvoir appliquer cette méthode, il faut connaître la loi de variation de l'effet étudié. Toutes les méthodes photométriques actuelles reposent sur ce fait reconnu que l'éclairement d'une surface varie en raison inverse du carré de sa distance à la source de lumière. Si la faculté de distinguer les détails ne varie pas proportionnellement à l'éclairement de la surface, il ne faut pas croire qu'on pourra lire aussi bien à la lumière de quatre bougies placées à 60 centimètres qu'à celle d'une bougie placée à 30 centimètres. Or l'expérience montre que 4 bougies à 60 centimètres, 9 bougies à 90 centimètres ou 1 bougie à 30 centimètres donnent sensiblement la même netteté aux détails. Donc, si en comparant un arc électrique et une bougie on constate qu'on obtient la même netteté de détails avec l'arc éloigné de 10 mètres qu'avec la bougie éloignée de 1 mètre, on peut dire que l'arc a un pouvoir éclairant de 100 bougies. Toutefois, si l'on comparait les éclairements produits par ces deux sources, aux distances citées, sur deux surfaces blanches voisines, on trouverait sans doute que la surface éclairée par l'arc paraît plus brillante que celle éclairée par la bougie. C'est que la lumière de l'arc contient des rayons qui, sans contribuer à faire ressortir les détails, contribuent à l'éclairement entendu au sens ordinaire.

Ce qu'il faut conclure de cette discussion, c'est que nos méthodes d'appréciation de l'intensité lumineuse sont encore imparfaites ; l'évaluation en bougies du pouvoir éclairant de l'arc manque de précision [1].

[1] On a proposé plusieurs méthodes pour donner une base plus sûre à la photométrie des lumières de spectre différent. Deux de ces méthodes sont assez importantes pour être mentionnées ici. La première, due à Crova, repose sur ce fait que les éclairements totaux produits par deux lumières presque blanches sont dans le même rapport que les éclairements produits par celles de leurs radiations dont la longueur d'onde est 0,582 μ. En isolant ces radiations par l'absorption, on pourra donc déterminer l'intensité relative de deux lumières hétérochromatiques. Il est certain toutefois que cette méthode n'est applicable que si les spectres des deux lumières ne sont pas trop différents.

L'autre méthode est celle du *scintillement*, proposée par O.-N. Rood en 1893. Son principe est celui-ci : si l'on fait alterner rapidement devant l'œil deux surfaces éclairées différemment, on observe un scintillement particulier, qui disparaît quand les éclairements sont égaux, que les lumières soient de couleurs différentes ou non.

IV. — Unités photométriques. — L'auteur rappelle que le Congrès des Electriciens tenu à Genève en 1896 a choisi pour unité d'intensité lumineuse la *bougie*, c'est-à-dire, selon un précédent Congrès tenu à Paris en 1889, le 1/20 de la lumière émise normalement par 1 cm^2 de platine incandescent à sa température de fusion. L'unité de flux lumineux est le flux produit par une source unité dans l'angle solide unité ; on l'appelle *lumen*. Enfin on a pris pour unité d'éclairement l'éclairement dû à un flux de 1 lumen par mètre carré ; c'est le *lux*. L'auteur trouve regrettable que ces résolutions n'aient pas été discutées d'abord dans la presse technique.

En premier lieu, la bougie est une unité trop faible. L'unité adoptée depuis longtemps par les électriciens est la lampe à incandescence de 30 watts, qui, lorsqu'elle consomme 3 watts par bougie donne une intensité lumineuse de 10 bougies. L'étalon officiel français, la lampe Carcel, a aussi une intensité voisine de 10 bougies. On devrait donc adopter pour étalon d'intensité une source lumineuse de 10 bougies, et l'appeler une *lampe*. L'unité d'éclairement serait la *lampe-mètre*, qu'on pourrait appeler aussi *lux*. Si l'étalon Violle au platine doit devenir en Angleterre l'étalon absolu, la *lampe* pourrait être définie : la quantité de lumière émise normalement par un demi-centimètre carré de platine à sa température de fusion.

Ensuite, il faudrait cesser d'exprimer le soi-disant « rendement » d'une lampe à incandescence en *watts par bougie*. Cette quantité doit s'exprimer en *lumens par watt* ou *par kilowatts*. Le rendement d'une lampe à incandescence, en lumens par watt, est d'environ 4 ; il est de 12 pour une lampe à arc à courant continu.

En terminant, l'auteur réclame l'établissement en Angleterre d'un étalon absolu d'intensité lumineuse. En vue de cette mesure, des recherches devraient être entreprises sur l'étalon Violle et l'étalon au platine Lummer et Kurlbaum, adopté par le Reichsantalt. Il faudrait aussi déterminer par l'expérience si les lampes à incandescence à grande ampoule proposées par l'auteur peuvent servir d'étalons secondaires. Quant à la lampe Hefner, c'est à juste titre qu'on s'est toujours refusé à l'admettre en Angleterre, car elle ne convient pas à la photométrie électrique. P. L.

Le professeur O.-P. Whitman a construit un *photomètre à scintillement*, que l'auteur a légèrement modifié. Il permet de comparer facilement l'arc à la bougie.

SECTION DE LEEDS

Séance du 19 février 1903.

Sur la situation de l'Angleterre dans l'industrie électrique. Adresse inaugurale de **Harold Dickinson**, d'après *Electrician*, t. L, p. 764-765 ; 27 février 1903.

Après quelques mots sur l'histoire de l'Institution, M. Dickinson fait allusion au but qu'elle doit se proposer. Il espère qu'elle ne tardera pas à étudier la situation créée à l'industrie électrique par la concurrence étrangère, ainsi que les questions de la main-d'œuvre, de l'enseignement et des conditions fiscales. La Société, en discutant ces questions, s'abstiendra d'ailleurs d'y intervenir ; elle se bornera à mettre les meilleures méthodes sous les yeux des industriels et des représentants du travail et de l'enseignement.

L'industrie électrique et son avenir. — Il y a trente ans, l'industrie électrique était dans l'enfance par rapport à la situation qu'elle occupe aujourd'hui, et les chiffres suivants donnent une idée du développement qu'elle a pris pendant cette période. Les réseaux téléphoniques des Compagnies privées du Royaume-Uni représentent ensemble un capital de plus de 250 millions de francs. Les réseaux de distribution d'énergie et de traction ont acquis une importance plus grande encore : parmi les premiers, ceux des Compagnies privées ont absorbé 550 millions et ceux des municipalités, 620 millions ; enfin, 1 100 millions sont immobilisés dans les réseaux de traction des Compagnies et 400 millions dans ceux des municipalités. Ces chiffres croissent d'ailleurs régulièrement chaque année.

On remarque avec satisfaction que l'agrandissement des usines abaisse les prix de revient ; l'amélioration du facteur de charge, due à une diversité plus grande dans les besoins des abonnés, permet d'espérer de nouvelles réductions dans l'avenir. Le prix de vente de l'énergie électrique la met aujourd'hui à la portée de tous, et l'accroissement de la clientèle serait bien plus considérable encore, si les frais de premier établissement des canalisations n'étaient pas si élevés. Toute réduction qu'on pourrait

leur faire subir tendrait à généraliser l'emploi de la lumière électrique.

Situation de l'Angleterre vis-a-vis de la concurrence. — Pour que l'industrie s'adapte aux conditions sans cesse changeantes du commerce, celles-ci doivent faire l'objet d'une étude constante. C'est ce qu'on a commencé à comprendre en Angleterre, et les travaux accomplis dans cette voie ne peuvent manquer de porter fruit bientôt. L'auteur se pose la question : Jusqu'à quel point sommes-nous outillés pour faire face aux exigences de l'avenir ? et l'examine sous les quatre rapports suivants : *a*. Prévoyance ; *b*. Administration ; *c*. Enseignement ; *d*. Conditions fiscales.

Prévoyance. — On a pu voir il y a quelques années un exemple du manque de prévoyance des constructeurs anglais lorsque, ayant négligé de se préparer à fournir aux stations centrales les unités plus puissantes qu'elles réclamaient, ils durent laisser les commandes de ces machines aller aux maisons étrangères. Ce besoin de groupes électrogènes plus puissants aurait été cependant facile à prévoir, si les constructeurs avaient suivi avec attention la marche des événements.

Administration. — Les grandes entreprises électriques qui se sont fondées récemment en Angleterre ont pour la plupart commandé leur matériel à des maisons établies à l'étranger ou du moins d'origine étrangère. La raison en est que les maisons foncièrement anglaises, une seule peut-être exceptée, ne disposent pas d'assez grands capitaux pour prendre d'aussi fortes commandes. L'auteur critique en outre le mode de paiement de la main-d'œuvre en vigueur en Angleterre ; il conseille le système des primes, qui permet de rémunérer le travail selon l'intensité de la production. On devrait aussi encourager les ouvriers dans la recherche des procédés ou des outils qui permettraient de travailler plus vite. Enfin le constructeur anglais a été jusqu'ici trop timide au point de vue de la publicité.

Enseignement. — L'auteur rappelle l'adresse inaugurale faite sur ce sujet par le professeur Perry en 1900. Il n'admet pas, pour sa part, que l'ingénieur électricien anglais le cède en rien à son collègue d'Amérique ou du continent. Il attend beaucoup du programme d'enseignement adopté par la « Yorkshire Association ». Une coopération constante et intime des Ecoles techniques et des constructeurs aurait sans doute les meilleurs résultats.

Conditions fiscales. — L'activité de la concurrence et la nécessité des grandes entreprises conduisent au système des trusts et aux abus qu'il entraîne ; d'autre part, le protectionnisme pourrait engendrer des inconvénients non moins grands. Néanmoins il est certain que les tarifs des nations étrangères deviennent gênants. On comprend que les industriels et les financiers hésitent devant l'établissement des grandes usines et des installations puissantes, lorsqu'ils ont à lutter contre des concurrents auxquels les tarifs assurent la possession du marché de leur propre pays, de sorte qu'ils peuvent vendre à l'étranger leur surproduction au-dessous du prix de revient et tenir ainsi leur outillage continuellement en pleine activité. La protection, si on l'adopte en Angleterre, aura pour résultat d'y faire monter les prix des choses nécessaires à la vie, mais cette perte ne sera-t-elle pas compensée par le surcroît de travail qu'obtiendra l'industrie et les salaires plus élevés qu'elle pourra payer ? Tel est le problème à étudier. Nul ne veut d'une intervention trop active du Gouvernement dans ces questions, mais le temps est venu où l'Angleterre devrait avoir un ministre du Commerce, chargé de découvrir des débouchés au trafic extérieur. L'administration des informations commerciales du Board of Trade a déjà rendu de précieux services de cette nature.

Conclusions. — L'Angleterre, dit l'auteur, n'a pas de rivaux pour la qualité du travail. A cet avantage s'ajouteront bientôt les heureux résultats des perfectionnements récemment apportés à l'enseignement technique, et si en outre les industriels commencent une étude sérieuse des problèmes du commerce international, s'ils peuvent faire accepter à leurs ouvriers un système de rétribution basé sur les résultats du travail, l'avenir qui s'ouvre pour le pays ne paraît pas devoir faire regretter son passé. P. L.

Section de Manchester.

Séance du 16 décembre 1902.

Halage et remorquage électriques sur les canaux, par **E.-W. Marchant**, d'après *Electrician*, t. L, p. 423-425, 2 janvier 1903, et p. 511-514, 16 janvier 1903.

La concurrence des chemins de fer a amené

les compagnies de transports par eau à accroître la vitesse de leurs bateaux. Le rendement et l'utilité d'un canal varient, en effet, selon la vitesse à laquelle le transport des marchandises peut s'y effectuer, et cette utilité, ou si l'on peut ainsi dire, le coefficient d'utilité du canal, n'est pas proportionnel simplement à la vitesse, mais plutôt à son carré. D'autre part, si l'on accroît trop la vitesse des péniches, l'action des eaux sur les rives deviendra très nuisible et les dépenses occasionnées de ce chef compenseront et au delà le bénéfice de l'accroissement de vitesse. La limite pratique de vitesse paraît devoir être fixée entre 5 et 6 kilomètres à l'heure.

La longueur du trajet dépend aussi de la durée quotidienne du service. En hiver, un éclairage artificiel, permettant la circulation des bateaux pendant la nuit, rendrait le transit beaucoup plus rapide; aussi, a-t-on proposé l'installation de lampes à arc le long du canal de Charleroi.

On va considérer maintenant quelques-uns des moyens mécaniques qui ont été appliqués aux transports sur les canaux.

Tracteurs roulant sur le chemin de halage. — Ce système a été appliqué, pour la première fois, par M. Galliot, en France. Son tracteur électrique, portant un moteur de 8 ou 10 chevaux, s'alimente au moyen d'un trólet aérien et entraîne une barque de 300 tonnes à la vitesse de 2,7 km à l'heure. La transmission se fait par courant continu à 500 volts; le rendement, grâce au bon entretien des chemins de halage en France, est assez élevé, plus de 40 p. 100.

Le système inventé par M. Gérard, président de la Société des électriciens belges, et appliqué au canal de Charleroi à Bruxelles, a l'intérêt de n'employer que les courants triphasés. Il fonctionne sur une longueur de 48 km. Il y a deux usines génératrices : celle d'Oisquercq, à 24 km de Bruxelles, et celle de Roux, à 7 km de Charleroi. Elles fournissent du courant triphasé à la tension de 6 000 volts, qu'une ligne aérienne transmet à un certain nombre de sous-stations transformatrices éloignées de 5 km les unes des autres. Les câbles secondaires, entre lesquels existe une différence de potentiel de 600 volts, sont dans un même plan légèrement incliné sur la verticale; la hauteur minima du câble le plus bas est de 5 m, sauf au passage sous les ponts, et de 6,80 m aux croisements de routes.

Les sous-stations de transformation sont des hangars divisés en deux par une cloison; d'un côté est un transformateur isolé à l'huile, dont l'enveloppe est mise à la terre, de l'autre un téléphone. La puissance des transformateurs est de 19 kilowatts, leur rapport de transformation 1 à 10 et leur rendement à pleine charge 95,7 p. 100.

Le chemin de halage comprend une partie pavée, large d'environ 75 cm, et une partie macadamisée; la largeur totale est de 2 m à 2,40 m. Le tracteur se compose de deux parties distinctes : le truck avec sa plate-forme et le chariot du moteur (fig. 1). La direction s'obtient par déplacement de l'axe d'avant, comme dans l'automobile ordinaire; le chariot du moteur est fixé au bogie par une suspension à ressort. Le moteur, qui fait 580 tours par minute, actionne par engrenage un arbre intermédiaire qui transmet le mouvement par une chaîne aux roues motrices. Entre l'appareil de direction et le moteur est placé le siège du conducteur, à gauche duquel se trouve le rhéostat de réglage.

Si, quand la barque doit franchir un passage étroit, on a besoin d'un supplément de puissance, on met des cales sous les roues, on débraye le moteur et on l'accouple, par l'intermédiaire d'un réducteur de vitesse, à une bobine conique sur laquelle s'enroule le câble de halage. On peut ainsi exercer un effort de traction cinq fois plus grand que l'effort normal.

Le moteur, d'une puissance de 5 chevaux, reçoit le courant par des bagues connectées au rotor. Le stator est relié à une résistance montée en étoile, qu'on modifie à volonté. La vitesse peut être ainsi réduite à 2 km-h; la vitesse normale est de 5 km : h. Le peu de largeur du chemin ne permettant pas d'évoluer facilement, on échange les tracteurs à la rencontre des bateaux; un inverseur permet la marche en arrière.

On emploie deux types de tracteur : l'un, construit par La Sambre, pèse 2 tonnes; l'autre, par Marcinelle et Couillet, est un peu plus léger. Les trôlets sont des roulettes en bronze à chapes d'aluminium ; un contrepoids en plomb abaisse leur centre de gravité. Leur poids, non compris le câble attaché à chacun d'eux, est de

740 gr. Il n'existe pas de liaison rigide entre les trois trôlets.

Le mauvais entretien des chemins de halage en Belgique est cause d'une forte perte de puissance et de nombreuses avaries aux tracteurs. Aussi, M. Gérard a-t-il été conduit à adopter le système décrit plus loin, dans lequel les mêmes tracteurs circulent sur voie ferrée.

Ce système de halage comprend deux méthodes :

Halage par tracteurs sur rails au niveau du sol.

Halage par tracteurs sur voie surélevée.

Tracteurs sur rails ordinaires. — Plusieurs systèmes de ce genre sont en usage. Le plus intéressant est celui de M. Köttgen, réalisé par Siemens et Halske et appliqué aujourd'hui au canal de Teltow. Le tracteur Köttgen est remarquable par son asymétrie; sa construction est telle que les quatre cinquièmes du poids total portent sur deux des roues, qui reposent sur l'unique rail du système. Le poids du tracteur est de deux tonnes; à la vitesse de 4,5 km : h, l'effort de traction est environ le quart de ce poids. Cette machine est destinée

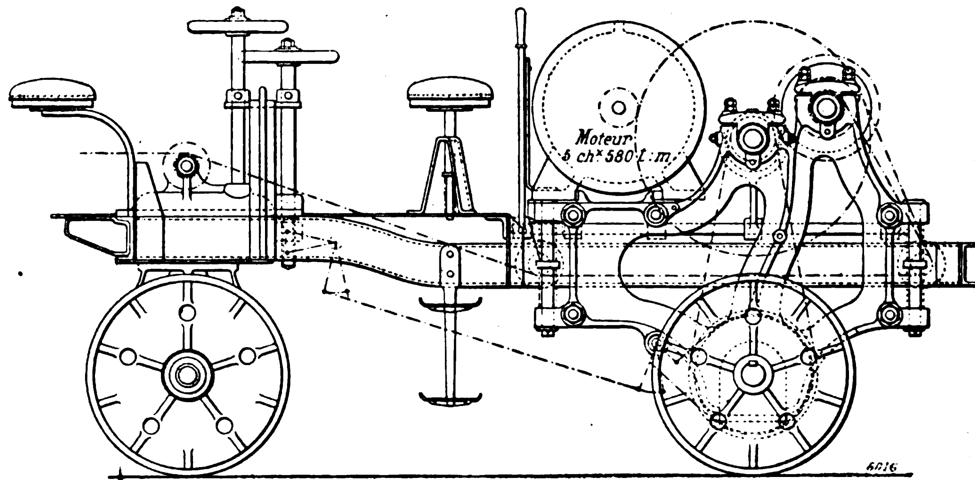


Fig. 1.

au halage des barques de 150 tonnes; le moteur est de 10 chevaux.

Dans le système de M. Gérard, la charge est à peu près la même sur les roues situées de côtés opposés du tracteur; on emploie des rails Vignoles légers posés sur le chemin de halage. Les tracteurs sont les mêmes que dans le système de traction sur route; les roues seules sont différentes. Ce système est encore à l'essai, il fonctionnera par courants triphasés.

Tracteurs sur rails surélevés. — Les systèmes basés sur ce principe n'ont pas donné satisfaction. Dans celui de Lamb, le tracteur circule sur un câble d'acier supporté par des mâts solides plantés le long du canal. La puissance du moteur est de 5 chevaux, et le poids du tracteur, 900 kg. A la vitesse de 4 km : h, l'effort de traction exercé était de 65 à 225 kg. Mais l'emploi du tracteur et l'inclinaison de la corde de halage sur le câble d'acier font subir aux mâts une poussée si forte que, malgré la grande solidité qu'on leur donne, ils se déracinent rapidement; aussi, ce système n'est-il applicable qu'aux très faibles charges.

Un autre système, dû à MM. Thwaite et Cawley, a été décrit en 1898 devant la British Association. L'auteur ignore s'il a jamais été appliqué, bien qu'il possède plusieurs avantages sur celui de Lamb. Le tracteur est très léger et on obtient l'effort de traction nécessaire en le faisant circuler sur des rails en Z, le moteur étant en surplomb. Le courant est transmis par un trôlet ordinaire à 500 volts et revient par les rails; la puissance du moteur est de 2 1/2 chevaux; on le commande de la barque.

Remorquage et touage. — Le touage par la vapeur est très employé sur le Rhin et ses affluents, mais sur la plupart des canaux, on utilise des remorqueurs à hélice. Les remor-

queurs électriques du canal de Charleroi sont de deux types : les uns, longs de 12 m, sont munis d'un moteur de 12 chevaux, les autres ont 8,40 m de long et un moteur de 5 chevaux.

On ne peut dire quel est le plus économique des trois systèmes de traction, car la puissance réelle à dépenser par tonne-kilométr. dépend. de bien des facteurs, notamment de la largeur du canal et des dimensions de la barque. La table ci-dessous donne les rendements approximatifs :

	Rendement.	Puissance à fournir par cheval utile.	Kg de charbon par cheval utile.
Tracteur sur rails (Köttgen)	0,65	1,34	1,93
Tracteur sur route (Gérard)	0,45	2,2	2,8
Remorqueur électrique.	0,32	3,1	3,5
Remorqueur à vapeur .	0,3	3,3	6,7

L'économie de l'un quelconque de ces systèmes par rapport aux autres dépend naturellement en grande partie des frais de premier établissement. Avec le remorquage à vapeur, ces frais portent uniquement sur les remorqueurs eux-mêmes, tandis que dans les autres cas la construction de l'usine génératrice, de la voie et de la ligne aérienne doivent entrer en ligne de compte. Dans le système Gérard, par exemple, les frais de premier établissement sont, pour la ligne aérienne (stations de transformation comprises) d'environ 8 000 fr par kilomètre, et, pour l'usine génératrice, 875 fr par kilowatt.

Pour un trafic annuel de 4 500 000 tonnes, il faut environ 6 à 6,5 kilowatts par kilomètre de canal. Les frais d'entretien de la voie, de la ligne de transmission, etc., se montent à 1 000 fr par kilomètre. Le prix de transport s'évalue ainsi à 0,002 fr par tonne-kilomètre ; comme il est, en général, de 0,005 fr pour le remorquage par chevaux, l'économie réalisée par le système Gérard est évidente.

L'auteur préfère la transmission par courants triphasés à la transmission par courant continu. On réalise, en effet, avec le système triphasé, une économie de 25 p. 100 sur le cuivre de la ligne et le matériel transformateur se compose uniquement d'appareils statiques n'exigeant aucune surveillance. On construit d'ailleurs aujourd'hui des moteurs asynchrones triphasés dont le facteur de puissance est élevé et le couple de démarrage énergique ; à ce dernier point de vue, ils peuvent soutenir la comparaison avec les meilleurs moteurs à courant continu. P. L.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 20 mars 1903.

Une communication sur le ***Travail de la silice fondue et de l'anhydride borique fondue***, faite à cette séance par **M. A. Dufour**, offre quelque intérêt pour les constructeurs d'appareils électriques ; nous reproduisons ci-dessous le résumé qu'en donne le dernier bulletin de la Société :

Silice fondue. — I. Le chalumeau alimenté par du gaz d'éclairage et de l'*oxygène* donne la température nécessaire pour fondre le quartz. Le fragment de quartz, « étonné » au préalable, doit être placé au sommet du cône bleu brillant que l'on voit à l'orifice du chalumeau, quand la quantité d'oxygène est suffisante.

II. En accolant dans la flamme des fragments de quartz étonné, en les fondant et les étirant, on constitue une baguette de silice fondue qui permet d'obtenir des tubes et des fils.

Il suffit, pour fabriquer un tube, d'enrouler cette baguette en hélice dont les spires se touchent. En refondant toute la paroi et en soufflant, à l'aide d'un tube de caoutchouc, dans le tube qu'on travaille, on obtient très facilement un tube sensiblement régulier, en silice fondue.

Le fil de quartz, d'un diamètre supérieur à 10 μ, environ, s'obtient en quantité notable par le procédé suivant : une poulie cylindrique, en bois, qui peut être mise en rotation, à la main ou moteur, porte un fragment de baguette. A l'aide du chalumeau, on soude à ce fragment une baguette assez épaisse. Maintenant l'extrémité de cette dernière constamment fondue, on met la poulie en mouvement. Il se produit un fil plus ou moins fin qui s'enroule sur la poulie.

Les fils plus fins, ayant de 1 à 10 μ de diamètre et utilisés fréquemment pour les suspensions, s'obtiennent par le procédé Trehfall. Il suffit d'étirer rapidement, dans le chalumeau, une baguette de silice fondue, pour qu'il se produise un fil très fin, que la flamme entraîne. On le recueille en plaçant au-dessus de cette flamme une planche garnie de clous, où il s'accroche.

Le fil obtenu est d'autant plus fin que la flamme est plus chaude. M. Blein fabrique devant la Société quelques-uns de ces fils, à l'aide d'un procédé analogue à celui de Trehfall. Il étire d'abord une baguette en un point, de manière à obtenir un fil assez gros ; puis il laisse ce fil s'étirer, dans la flamme rendue un peu molle. L'avantage de ce procédé sur le précédent consiste en ce que le fil reste attaché à la baguette.

III. — La propriété la plus intéressante de la silice fondue est sa faible dilatation. M. Dufour projette les courbes obtenues par M. Le Chatelier et représentant la dilatation des variétés de quartz.

Une expérience simple montre d'ailleurs la différence de dilatation du verre et de la silice fondue : on chauffe à la même température dans un tube de laiton, deux baguettes de même longueur (30 cm), l'une de silice, l'autre de verre. Un objectif à projection donne sur un écran l'image des extrémités de ces baguettes. Pendant la chauffe, la baguette de verre, qui était la plus courte, devient la plus longue.

Il résulte de cette différence de dilatation, que la silice fondue résiste beaucoup mieux que le verre à de brusques variations de température. Un tube de quartz, fermé à une extrémité, et pas trop épais, peut être chauffé au rouge à l'aide d'un bec Bunsen, puis plongé brusquement dans l'eau sans qu'il se casse.

La silice fondue ne peut pas se souder au verre. C'est à l'aide de rodages que se font les connexions entre silice et verre. On ne peut aussi la souder au platine ; peut-être pourrait-on essayer des alliages à faible dilatation comme ceux de M. Guillaume.

IV. — La transparence de la silice fondue pour les rayons visibles et pour les rayons ultra-violets est très grande. Il est très facile de faire, avec un écheveau de fils de quartz, l'expérience des fontaines lumineuses.

Cette transparence existe, même à la température de la flamme d'un bec Bunsen ordinaire. Cette propriété permet de réaliser une expérience de cours relative à la loi de Kirchhoff : un fil de platine placé à l'intérieur d'un tube de silice chauffé par un Bunsen apparaît rouge au travers du tube transparent.

A plus haute température, au moment de sa fusion, le quartz est, au contraire, très lumineux. M. Dufour s'est servi de cette propriété pour projeter devant la Société les opérations de la fabrication des tubes de silice.

Anhydride borique fondu. — L'anhydride borique fond à une assez basse température. Il se travaille exactement comme le verre dans l'industrie.

On obtient ainsi des boules et des tubes très transparentes, qui se recouvrent peu à peu, à l'air ordinaire, d'une couche opaque d'acide borique. Un lavage extérieur à la potasse leur rend leur transparence.

Le maniement de ces tubes est très délicat ; ils sont extrêmement sensibles aux variations de température. Un appareil en anhydride borique, sans fente, est une rareté.

L'anhydride borique fondu se soude très bien au platine. Cette propriété est précieuse, car elle permet de relier un tube en anhydride borique à une canalisation en verre.

M. Dufour montre les tubes de Geissler qui lui ont servi pour ses recherches de spectroscopie.

M. R. Benoit rappelle, à propos de la Communication précédente, que M. P. Chappuis, après avoir été témoin des premiers résultats obtenus par M. Dufour, et avoir été mis par ce dernier au courant de ses procédés, a construit à Breteuil, il y a environ deux ans, une pièce qui mérite peut-être d'être signalée, parce qu'elle est, semble-t-il, la première de cette importance qui ait été faite en quartz fondu. C'est un réservoir pour thermomètre à gaz, ayant la forme d'un tube cylindrique de 5 à 6 cm de diamètre, sur 22 cm de longueur, terminé par des calottes hémisphériques, et prolongé d'un côté par un tube capillaire d'une trentaine de centimètres. Il est destiné à un thermomètre à gaz, pour des études sur les températures élevées.

M. Chappuis a aussi déterminé la dilatation du quartz fondu, par la méthode Fizeau, sur un petit bloc préparé par lui, et qui a été taillé pour cet objet par M. Jobin. Il a obtenu également une dilatation très faible, environ trente fois plus petite que celle du verre ordinaire.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 2 mars 1903.

Nouvelles recherches sur la convection électrique, par **H. Pender** et **V. Crémieu**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 548-550.

Au cours de recherches antérieures, poursui-

vies séparément, MM. H. Pender et V. Crémieu ont émis, à plusieurs reprises, des conclusions contradictoires au sujet de l'effet magnétique de la convection électrique. Grâce à l'initiative de M. H. Poincaré et à la libéralité de M. Bouty, qui a mis toutes les ressources de son laboratoire à leur disposition, les auteurs poursuivent actuellement en commun des expériences qui leur permettent de tirer, dès maintenant, les conclusions suivantes :

« Dans l'expérience d'induction sous la forme adoptée par M. Pender, on constate des effets d'induction magnétique dus à la charge et à la décharge des disques en mouvement, et s'accordant qualitativement d'une manière très nette avec les effets attendus de la convection.

» Dans l'expérience d'induction sous la forme originale que lui avait donnée M. Crémieu, on ne constate aucun de ces effets.

» En répétant, avec les disques de M. Pender, l'expérience forme Rowland, on a constaté un effet magnétique dû à la charge et à la décharge des disques en mouvement ; il est qualitativement d'accord avec les effets attendus de la convection :

» Dans toutes ces expériences, on n'a constaté aucune différence qualitative, en remplaçant les disques continus par des disques à secteurs isolés. Malheureusement, les conditions mécaniques et magnétiques des installations de la Sorbonne ne permettent pas d'espérer pouvoir faire des mesures quantitatives. »

D'autre part, les auteurs avaient constaté séparément, et ont retrouvé, en commun, les effets suivants :

« 1° Une aiguille aimantée, placée dans un écran électrique au voisinage d'un disque en repos, reçoit au moment de la charge ou de la décharge de ce disque des impulsions suivies de déviations permanentes qui semblent dues à des désaimantations et réaimantations successives.

» 2° Une bobine, enfermée dans un écran électrique, et reliée à un galvanomètre, accuse des effets d'induction quand on produit avec un commutateur tournant la charge et la décharge rapide de corps au repos placés dans le voisinage ; ces effets sont réversibles avec le signe de la charge. Ils peuvent même se produire dans certains cas si une seule extrémité de la bobine induite est reliée au galvanomètre.

» Mais ces deux effets sont très irréguliers. Les conditions dans lesquelles on les observe nous échappent encore. Il est arrivé, dans les expériences de convection, de les voir disparaître sans que nous puissions dire exactement à quelle modification cette disparition était due. »

MM. Pender et Crémieu ajoutent :

« Dans toutes les expériences de convection faites jusqu'à ce jour, on a toujours produit la charge, la décharge ou l'inversion de charge de disques déjà en mouvement. Les phénomènes secondaires observés au repos peuvent aussi se produire au moment où l'on effectuera ces opérations sur les disques en mouvement. Leur connaissance détaillée serait donc nécessaire pour pouvoir tirer des conclusions définitives ; mais l'étude paraît devoir en être longue et difficile.

» Il est probable que les divergences entre nos deux expériences d'induction proviennent de la façon dont ces phénomènes accessoires sont modifiés par le mouvement.

» Mais il nous a paru possible de faire une expérience très simple et complètement à l'abri de tous ces effets. Elle consiste à charger, au repos et lentement, un disque conducteur mobile, très bien isolé, et formant l'armature interne d'un condensateur.

» Nous avons déjà pu obtenir des conditions telles que, si l'on produit le mouvement du disque non chargé, on ne constate aucune déviation d'un système magnétique très sensible placé dans le voisinage immédiat du disque.

» Dans ces conditions, la mise en marche du disque, préalablement chargé et isolé, devra, si l'effet magnétique existe, s'accompagner d'une déviation permanente du système astatique, avec retour au zéro au moment de l'arrêt.

» C'est des résultats de cette expérience, que nous allons réaliser très prochainement, que nous espérons pouvoir tirer une conclusion définitive relative à l'existence de l'effet magnétique. Nous réservons pour plus tard la continuation de l'étude des phénomènes secondaires des expériences précédentes. »

Séance du 9 mars 1903.

Sur la convection électrique, par **M. Vasilesco. Karpen**. *Comptes rendus* t. CXXXVI, p. 609-611.

Dans cette note, l'auteur décrit succinctement des expériences faites en vue de vérifier l'existence du champ magnétique provoqué par une masse électrique en mouvement.

Un disque d'ébonite portant, sur ses deux faces, des secteurs S de papier d'étain, tourne autour de son axe entre deux lames de verre portant, elles aussi, sur leurs faces extérieures des secteurs de papier d'étain S'.

Les secteurs S et S' sont reliés aux bornes d'une source de courant alternatif A ; l'une de ces bornes est mise d'autre part à la terre ; de cette façon la charge des secteurs varie suivant une sinusoïde et le courant de convection produit est un courant alternatif ; soit i son intensité ([1]).

Ce courant i induit, dans deux couronnes de fil B, de même axe que le disque et placées contre les faces extérieures des lames de verre, une force électromotrice.

$$e = M\omega i, \quad (1)$$

M étant le coefficient d'induction mutuelle de la nappe des courants de convection et des bobines B reliées ent ension, ω la pulsation de la source A.

Si les bobines B sont fermées sur un condensateur et si le système ainsi formé possède une période d'oscillation propre égale à celle de la source A, la différence de potentiel aux bornes du condensateur peut augmenter considérablement ; cette différence de potentiel est

$$E = \frac{L\omega}{R} e = \frac{ML\omega^2}{R} i, \quad (2)$$

L et R étant le coefficient de self-induction et la résistance des bobines B.

Si l'on introduit dans le circuit précédent un galvanomètre de résistance R', l'intensité du courant est

$$I = \frac{e}{R + R'} = \frac{M\omega}{R + R'} i, \quad (3)$$

On peut mesurer soit E, soit I. Les formules montrent qu'il y a avantage à augmenter le diamètre du disque tournant et la fréquence du courant ; celle-ci est pourtant limitée par la capacité propre du fil des bobines B qui prend, par rapport à la capacité correspondant à l'accord, une importance de plus en plus grande, les formules (2) et (3) n'étant plus qu'approchées pour les fréquences élevées ([2]).

Si l'on appelle Q la charge efficace que prend le disque, v la vitesse de la lumière, N le nombre de tours du disque par seconde ; le courant de charge du condensateur formé par les secteurs S et S' est

$$i_c = \frac{Q\omega}{v}$$

et le courant de convection correspondant

$$i = \frac{QN}{v};$$

on en déduit

$$i = \frac{N}{\omega} i_c.$$

D'un autre côté M. Karpen a déterminé expérimentalement le coefficient $K = \frac{M\omega}{R+R'}$, figurant dans la formule (3), à l'aide d'un courant témoin ; remplaçant dans cette formule (3), i par sa valeur en fonction de i_c on obtient

$$I = K \frac{N}{\omega} i_c.$$

De sorte que l'expérience se réduit à la vérification de cette formule, c'est-à-dire la mesure du rapport de deux courants alternatifs à l'aide du même cummutateur et du même galvanomètre convenablement shunté. Cette mesure est facilitée par ce fait que ces deux courants ont une même phase.

On évite ainsi la mesure du potentiel du disque,

([1]) Les intensités et les forces électromotrices figurant dans cette Note sont des intensités et des forces électromotrices efficaces.

([2]) « L'auteur s'est arrêté aux dimensions et données suivantes :

Diamètre du disque tournant .	80cm
Epaisseur de la couche d'air entre le disque et les lames de verre	13mm environ
Nombre des spires induites .	1600
Diamètre moyen	72cm
Résistance totale	60 ohms

Il a pris comme source de courant alternatif le secondaire d'une bobine d'induction alimentée directement par le secteur de la rive gauche, dont la fréquence est d'environ 42 périodes par seconde. La capacité correspondant à l'accord, pour cette fréquence, est d'environ 5 microfarads.

Le courant I, redressé par un petit commutateur actionné par un courant synchrone, traverse un galvanomètre *à cadre mobile*.

» La résistance de ce galvanomètre est de 60 ohms, il donne une déviation de 1 mm sur l'échelle placée à 2 m pour un courant de $2,5 \times 10^{-9}$ ampère.

celle de sa capacité et même la mesure en valeur absolue du courant témoin, puisqu'il suffit de connaître le rapport entre celui-ci et le courant induit I.

Les résultats obtenus ont été, constamment et pour de nombreuses séries, aussi voisins qu'on pouvait l'espérer des résultats attendus.

A la suite d'un accident, M. Karpen n'a pu dépasser la vitesse de 800 tours par minute ; jusqu'à cette valeur les déviations ont été proportionnelles aux vitesses, elles ont été également proportionnelles aux courants de charge, c'est-à-dire aux potentiels, qui ont été poussés jusqu'à l'apparition des effluves entre le disque et les faces internes des lames de verre. Il n'a pas constaté la moindre variation de la capacité du disque par suite de son mouvement ; le courant de charge i_c reste rigoureusement constant pour toutes les vitesses *tant qu'il n'y a pas d'effluve.*

Ces expériences paraissent à l'auteur ne plus devoir laisser de doute sur l'existence de l'effet Rowland.

Sur un thermostat à chauffage et régulation électriques, par **C. Marie** et **R. Marquis**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 614-615.

Cet appareil se compose d'un récipient cylindrique en tôle émaillée, d'une quinzaine de litres, rempli d'eau distillée. Ce récipient est contenu dans une caisse, et l'intervalle est rempli de sciure ou de paille de bois, afin de diminuer autant que possible le rayonnement.

Le bain est chauffé électriquement au moyen du fil de platine parcouru par un courant que l'on peut régler au moyen d'un rhéostat. Un agitateur actionné par un petit moteur électrique permet de réaliser l'homogénéité thermique de la masse d'eau.

La constance de la température est assurée par un thermorégulateur, constitué par un gros cylindre de verre, rempli du liquide thermométrique choisi (les auteurs emploient l'acétone, dont le coefficient de dilatation est assez grand pour donner à l'appareil une sensibilité convenable) ; la dilatation de ce liquide faisant varier le niveau du mercure au voisinage d'une pointe de platine, provoque la rupture ou l'établissement d'un courant fourni par une pile auxiliaire ; ce courant actionne un relais qui commande le courant de chauffage.

L'appareil peut être réglé pour une température déterminée. Il permet de maintenir constante la température du bain, à 2 ou 3 centièmes de degré près. Cet écart de température correspond à une variation qui atteint à peine le centième de degré, dans la température intérieure de fioles plongées dans le thermostat.

Séance du 16 mars 1903.

Sur la cohésion diélectrique des mélanges de gaz, par **Bouty**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 669-671.

L'effluve qui, dans les expériences de M. Bouty, illumine la masse entière de gaz soumise à l'action du champ électrique et témoigne ainsi que la cohésion diélectrique est vaincue, ne paraît pas produire, en quantité appréciable, de produits différents de ceux que l'on a mis en présence. Si l'on opère sur des mélanges gazeux explosifs, non seulement cette effluve ne les fait pas détoner, mais on n'observe aucune variation de pression de l'ordre du millième, même par plusieurs effluves successives.

En général, le champ critique qui convient à un mélange est intermédiaire à ceux qui caractérisent les gaz mêlés.

Pour arriver à des conclusions plus précises, il convient de mêler des gaz dont les propriétés électriques soient très différentes. C'est pourquoi M. Bouty a surtout étudié les mélanges dont l'un des éléments est l'hydrogène ; rappelons qu'aux pressions supérieures à quelques millimètres de mercure ce gaz admet des champs critiques beaucoup plus faibles et, aux basses pressions, des champs critiques plus forts que les autres gaz communs.

Les phénomènes les plus intéressants sont ceux qui se produisent aux pressions élevées. On sait que le champ critique est alors sensiblement représenté par une fonction linéaire de la pression, indépendamment de l'épaisseur de la couche gazeuse mise en jeu, tandis qu'à basse pression la paroi intervient d'une manière complexe, soit par elle-même ou par la couche gazeuse adhérente. M. Bouty insiste donc particulièrement sur ce qui se passe aux pressions supérieures à quelques millimètres de mercure.

Deux cas au moins sont à distinguer. Dans le premier, qui paraît aussi le plus général, le *champ critique est exactement la moyenne des champs critiques correspondant aux deux gaz*

considérés isolément à la pression du mélange. On peut dire alors que les deux gaz ne se modifient pas réciproquement sous l'influence du champ électrique, la propriété que l'on étudie n'étant pas altérée par le mélange.

On pouvait s'attendre à ce qu'il en fût ainsi pour les mélanges gazeux sans action chimique et c'est, en effet, ce que l'on observe pour des mélanges tels que $CO + CO^2$, ou bien $CO + H$.

En tous cas, si la loi n'est pas rigoureuse, l'erreur que comporte son application tombe au-dessous de la limite des erreurs expérimentales.

La même loi s'applique encore au mélange détonant de protoxyde d'azote et d'hydrogène, tout au moins jusqu'à la pression de 6 cm de mercure qui n'a pas été dépassée dans ces expériences. Il semblerait naturel de supposer qu'il tend à se produire de l'azote libre et de la vapeur d'eau ; mais il faut bien admettre, d'après les résultats de M. Bouty, que cette tendance n'existe pas à la température ordinaire, et pour des pressions inférieures à 6 cm de mercure.

Dans des cas en apparence fort analogues aux précédents, les choses se passent toutefois d'une manière toute différente. Au lieu d'oxyde de carbone et d'hydrogène, prenons un mélange d'acide carbonique et d'hydrogène. Le champ critique peut alors descendre très sensiblement au-dessous de la moyenne correspondant aux gaz séparés. Pour un mélange donné, l'abaissement proportionnel croît avec la pression suivant une loi qui paraît asymptotique. Ainsi pour un mélange à volumes sensiblement égaux (48,6 p. 100 d'hydrogène) ces abaissements ont les valeurs suivantes :

Pression.	Abaissement relatif.
2 cm	4,15 p. 100
3 cm	5,90 »
4 cm	7,00 »
5 cm	7,87 »
6 cm	8,49 »
∞	12,7 »

Le nombre extrapolé, pour les pressions très élevées, s'obtient en déterminant le coefficient angulaire de l'asymptote à la courbe qui représente le champ critique en fonction de la pression. Cette asymptote est très bien déterminée par l'ensemble des mesures

Pour trois mélanges en proportions diverses, l'abaissement relatif limite paraît peu à peu proportionnel au produit du nombre des molécules d'espèce différente en présence. C'est une loi analogue à la loi de Guldberg et Waage.

L'abaissement limite du mélange à volumes égaux étant pris égal à 12,7 p. 100, il résulterait de cette loi, pour les mélanges contenant un quart d'acide carbonique ou un quart d'hydrogène, un abaissement moléculaire de 9,72 p. 100. M. Bouty a trouvé, en moyenne, 9,49.

Les mélanges d'oxygène et d'hydrogène présentent les mêmes particularités, mais l'abaissement moléculaire est comparativement plus fort.

Ni avec les mélanges d'acide carbonique et d'hydrogène, ni avec ceux d'oxygène et d'hydrogène M. Bouty n'a pu constater la production de traces appréciables de vapeur d'eau. L'action chimique, si elle existe, est donc extrêmement limitée. L'abaissement du champ critique est cependant une preuve indéniable de l'action du champ électrique sur la stabilité des groupements moléculaires existant normalement dans ces mélanges.

M. Bouty termine par quelques mots sur les phénomènes relatifs aux basses pressions. Pour tous les mélanges hydrogénés étudiés, le champ critique, aux basses pressions, est, sans exception, inférieur à celui qu'on calculerait par la loi des moyennes. L'abaissement est surtout considérable pour les pressions comprises entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{10}$ de millimètre. Dans cette région, le champ critique de l'hydrogène présente un accroissement extrêmement rapide, dont toute trace disparaît dans les mélanges.

Etant donnée l'influence considérable de la paroi sur les champs critiques à basse pression, il est vraisemblable que l'abaissement observé correspond à une diminution de la stabilité moléculaire du mélange en contact avec la paroi, ou, si l'on veut, du mélange condensé par la paroi.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 18 Avril 1903. 10e Année. — N° 16

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

NOUVEAU SYSTÈME D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

APPLIQUÉ SUR LES TRAINS A INTERCIRCULATION DE L'ÉTAT PRUSSIEN

Dans une étude générale sur les diverses méthodes d'éclairage électrique des trains publiée dans ce journal il y a quelques mois [1], j'ai indiqué que les systèmes comportant l'emploi d'une dynamo et d'accumulateurs et destinés à alimenter soit un train entier, soit des voitures isolées fonctionnaient tous au début avec une seule batterie (fig. 1) mais marquaient maintenant une tendance de plus en plus générale vers l'emploi de 2 batteries [2].

Je ne reproduirai pas la discussion théorique que j'ai faite des divers systèmes à simple et double batterie [3]. Je rappellerai seulement que si l'on a été conduit à adopter ces derniers systèmes, quoique plus lourds et plus coûteux comme accumulateurs, même à capacité totale égale, que ceux à simple batterie, c'est parce que ces derniers fonctionnaient dans des conditions instables d'équilibre électrique. En effet dans tous les systèmes à batterie unique employés jusqu'à présent, les lampes L (fig. 1) étaient reliées directement en quantité avec la batterie A pendant les arrêts où la dynamo est disconnectée et où les éléments n'ont que 2 volts de force électromotrice, et une résistance *fixe* était intercalée

---

(1) Voy. *L'Éclairage Électrique*, 7 et 21 juin p. 341 et 428, 20 et 27 septembre 1902, t. XXXII, p. 417 et 457.

(2) Le montage le plus souvent adopté est celui de la figure 2, dans lequel, pendant la marche, l'une des batteries A est en charge, tandis que l'autre B alimente les lampes, en parallèle avec la dynamo, et ne reçoit qu'une charge faible ou nulle. Les batteries sont interverties automatiquement, à intervalles irréguliers et à l'arrêt, dans les systèmes Stone, Vicarino et Dick, et à intervalles réguliers dans le système de l'auteur. La seconde batterie B peut dans un second dispositif de l'auteur (fig. 3) être entièrement isolée et alimenter toutes les lampes pendant que la première A est en charge, les batteries étant interverties en marche à intervalles réguliers et fréquents en passant par les phases P_1 à P_5.

(3) Voir pour ce point *L'Éclairage Électrique* du 27 septembre 1902, p. 457.

entre les lampes L et la batterie A pendant la marche où la force électromotrice des accumulateurs peut monter à 2,6 volts par élément. Mais la résistance étant fixe, on comprend aisément qu'elle ne pouvait compenser la variation de force électromotrice que pour un état de saturation déterminée de la batterie (généralement la résistance était calculée pour l'état moyen correspondant à 2,3 volts par élément) et que la tension aux bornes des lampes variait encore dans des limites assez fortes pour rendre la lumière désagréable et brûler les lampes. On était alors exposé, soit à l'épuisement et à la sulfatation des batteries si, en vue d'éviter les trop fortes élévations de tension aux accumulateurs et par suite aux lampes, on réglait le débit de la dynamo à une faible valeur, parce qu'alors la quantité d'électricité restituée aux accumulateurs pouvait devenir insuffisante; soit plutôt au survoltage

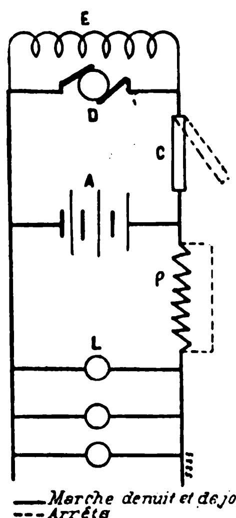


Fig. 1. — Systèmes à une seule batterie.

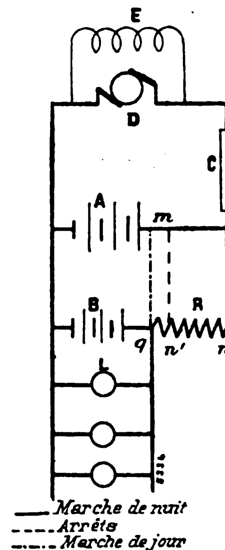


Fig. 2. — Systèmes à double batterie.

des lampes si le débit de la dynamo était tel que la batterie recevait plus qu'elle ne dépensait pendant les arrêts. Ces inconvénients devenaient très marqués lorsque les voitures étaient exposées à circuler dans des trains différents ou à allure très inégale, et se faisaient moins sentir sur des voitures effectuant toujours les mêmes parcours et des parcours très uniformes. Toutes choses égales d'ailleurs, l'instabilité de marche est beaucoup plus grande dans les installations où la dynamo est mue par l'essieu, et donne une force électromotrice un peu variable avec la vitesse et cessant avec les arrêts, que dans celles où la dynamo est mue par un moteur spécial indépendant de la marche du train. Pourtant même dans ce cas il faut toujours tenir compte de l'élévation de tension des éléments dus à la saturation. Dans les installations fixes on compense ces variations en faisant varier le nombre d'éléments en circuit sur les lampes par un réducteur à manœuvre automatique ou plus souvent à main; sur les trains, ce moyen serait beaucoup trop compliqué. Mais il paraît très simple, à première vue, d'obtenir le même résultat en faisant varier la résistance d'absorption intercalée entre la batterie et les lampes à l'aide d'un solénoïde. Mais en pratique sur un matériel soumis à des trépidations continuelles il n'est pas possible d'obtenir le fonctionnement suffisamment précis d'un solénoïde régulateur; c'est déjà avec peine que l'on peut réaliser un solénoïde déclenchant à une valeur déterminée et destiné à limiter, par réduction du champ excitateur, le débit de la dynamo lorsque la tension ou le courant

de charge atteint une valeur déterminée. M. Vicarino par exemple, qui avait proposé ce moyen de régulation, y a renoncé après essais ; dans le système Auvert la résistance R est divisée en trois parties intercalées successivement, mais en réalité à quelques secondes seulement d'intervalle, c'est-à-dire en même temps, au moment de la conjonction de la dynamo.

Le Dr Büttner, ingénieur en chef de la Société de l'Accumulateur Tudor de Berlin, a trouvé une solution simple et élégante du problème, en s'inspirant de ce qui a été fait pour la lampe Nernst. La baguette réfractaire de cette lampe étant détériorée facilement par les survoltages, on sait qu'il lui est adjoint en série, comme dans les circuits d'arcs, une résistance jouant le rôle de volant amortisseur pendant le régime normal de fonctionnement. Cette résistance est en fil de fer de manière à présenter une résistance faible au moment de l'allumage où la baguette réfractaire froide est peu conductrice et augmentant ensuite assez vite lorsque sa température et celle de la baguette s'élève. Quoique la résistivité du fer ait un coefficient de température assez élevé, on ne peut obtenir une grande augmentation de résistance qu'en portant le fer à une haute température à laquelle il s'oxyde et change de propriété s'il est laissé à l'air libre ; aussi dans les derniers modèles de lampes Nernst la résistance en fer est-elle enfermée dans une petite ampoule remplie d'hydrogène, qui permet de la porter au rouge blanc sans l'altérer. Le Dr Buttner a eu l'idée ingénieuse d'appliquer ce dispositif à l'éclairage des trains. On conçoit qu'en constituant la résistance (fig. 1) à l'aide d'un appareil de ce genre et qu'en calculant convenablement les dimensions du fil de fer, sa température et sa résistance peuvent croître de manière à compenser l'élévation de force électromotrice de la batterie de 1,90 à 2,7 volts par élément et à obtenir une tension constante aux lampes L. On réalise de cette manière une résistance variant automatiquement sans aucun organe mobile, ce qui est un avantage considérable au point de vue pratique.

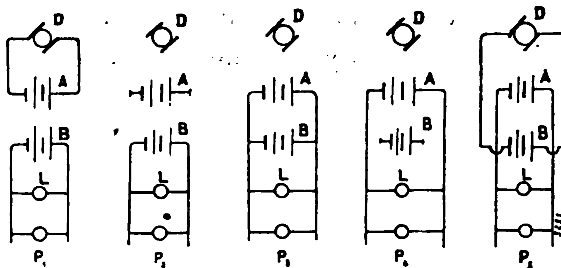


Fig. 3. — Système à double batterie de l'auteur.

Ce résultat n'est obtenu, il est vrai, qu'au prix d'une perte d'énergie un peu forte, 30 p. 100 environ. Cet inconvénient n'a pas une très grande importance lorsque le courant nécessaire à l'éclairage d'un train est produit au fur et à mesure de sa consommation, par une dynamo unique à rendement élevé, comme c'est le cas dans les essais entrepris sur les chemins de fer allemands, mais il pourrait constituer un obstacle à l'emploi pratique du procédé lorsque l'éclairage est produit isolément sur les voitures par de petites dynamos dont l'ensemble donne déjà lieu à des pertes d'énergie mécanique assez fortes. Toutefois cette perte de 30 p. 100 n'est pas aussi considérable qu'elle le paraît, à première vue : dans tous les autres systèmes d'éclairage des trains par dynamo [1], la résistance (fig. 1) destinée à absorber l'excès de tension des accumulateurs au-dessus de 2 volts, pendant la marche des arrêts entre les points d'arrêts correspond toujours à une perte de puissance de 12 à 15. p. 100.

Afin de rendre, non seulement chaque voiture mais chaque lampe du train indépendante, on a disposé une résistance de réglage dans chaque branchement de lampe, sous

[1] A moins que la dynamo soit commandée par un moteur, absolument indépendant de la marche du train et des changements de machines, placé dans le fourgon, comme dans le Transsibérien.

forme d'une sorte de petite lampe à incandescence à filament en fer, de 10 cm de longueur, montée sur un support ordinaire à baïonnette. Il serait d'ailleurs probablement difficile, sinon impossible, de construire une résistance de réglage en fer enfermée dans une ampoule et capable de régulariser tout un train ; mais peut-être pourrait-on se contenter d'établir une seule résistance par voiture, ce qui rendrait l'installation plus économique, dans le cas où l'on rendrait toutes les lampes d'une même voiture solidaires, sujétion à laquelle on s'astreint généralement dans les autres systèmes auto-générateurs (1).

La Société de la turbine Laval a équipé je crois quelques trains appartenant à des petits chemins de fer locaux suédois à l'aide d'une turbine dynamo placée sur la locomotive. Cette Société avait déjà proposé il y a quelques années aux diverses compagnies de chemins de fer, allemandes et françaises notamment, d'appliquer des systèmes de ce genre; mais ces offres n'avaient pas été acceptées parce que les appareils accessoires de régulation à fonctionnement électrique ou mécanique, qui étaient malgré tout nécessaires, faisaient perdre au système beaucoup de sa simplicité et aussi parce que l'on craignait de ne pas avoir une régularité parfaite de la lumière. En effet, sauf dans le cas particulier des trains de banlieue ou de petites lignes qui effectuent leur parcours complet sans changer de machine, l'emploi d'une dynamo sur la locomotive ne dispense pas de l'usage d'accumulateurs destinés à assurer l'éclairage pendant les périodes où la locomotive est décrochée (2). Dès l'instant qu'il y avait des accumulateurs couplés en parallèle avec une dynamo découplée par instants, même courts, il fallait jusqu'à présent un appareil mécanique ou électrique pour intercaler une résistance d'absorption pendant la marche et la mettre en court-circuit pendant les arrêts, et en outre la tension aux bornes des lampes variait légèrement suivant l'état de saturation des accumulateurs, dans de moins grandes limites que sur les installations où la dynamo est commandée par l'essieu mais variait néanmoins toujours un peu.

Le Dr Büttner est arrivé à supprimer ces deux inconvénients puisqu'à l'aide des lampes à incandescence en fil de fer, on obtient, non seulement une self-régulation de la tension pendant la marche, mais on supprime la manœuvre de tout appareil *mobile* d'intercalation de résistance au moment des changements de machine. Grâce au procédé du Dr Büttner, on peut réaliser à l'aide d'un groupe dynamo-moteur, placé sur la locomotive, l'éclairage de tout un train avec une simplicité extrême d'équipement et surtout de conduite des appareils, ainsi qu'on va le voir par la description des installations de ce genre faites par les chemins de fer de l'État prussien.

Cette administration qui jusqu'à présent avait trouvé tous les systèmes existants d'éclairage trop compliqués pour en faire l'application (3), trouva si séduisant le système Büttner qui lui fut proposé au début de 1902 par l'*Allgemeine Electricitæts Gesellschaft* qu'elle résolut de l'essayer aussitôt, concurremment avec l'emploi d'une dynamo-turbine Laval, sur les deux trains à intercirculation (Durchgang ou « D » Züge.) qui font le service rapide de nuit de Berlin à Sassnitz, où ils correspondent avec le paquebot-courrier de Suède

(1) Il serait toujours loisible de permettre l'extinction de quelques-unes seulement des lampes d'une voiture par l'intercalation d'une résistance absorbant le même courant, comme on le fait également dans les autres systèmes.

(2) J'ai préconisé, pour ce cas particulier (voir *L'Éclairage Électrique* du 21 juin 1902, p. 431), l'emploi d'une dynamo placée sur la locomotive, sans le secours d'accumulateurs; le régulateur du moteur à vapeur est alors suffisant pour maintenir constante la tension aux bornes des lampes, sans qu'il soit nécessaire de faire usage d'aucun procédé de régulation.

(3) On ne rencontrait jusqu'à présent l'éclairage électrique que sur les chemins de fer de l'Allemagne du Sud, qui sont autonomes, mais, sur tout le réseau prussien, il n'y avait que 2 voitures Stone à l'essai.

allant de Sassnitz à Trelleborg. Cet essai, commencé en avril 1902, a donné des résultats si satisfaisants que le système a été appliqué à deux autres trains du service Berlin-Hambourg, qui ont été éclairés à l'électricité à partir de novembre 1902, ainsi que le journal l'a annoncé (1). Voici quelles sont les dispositions adoptées sur le train dit « de Suède », dont j'ai eu l'occasion d'examiner l'été dernier les appareils et le fonctionnement.

Tout d'abord il est à remarquer qu'au lieu d'employer une seule grosse batterie A (fig. 1) pour tout le train, on a disposé une batterie spéciale A, A′ sous chaque véhicule. Le schéma d'un train est alors conforme à la figure 4 : en D sur la locomotive un groupe électrogène, une canalisation générale longeant tout le train et comportant des accouplements mobiles entre voitures, sur chaque voiture une batterie d'accumulateurs A, A′, A″, etc., à côté de chaque lampe une résistance en fer r_1, r_2, r'_1, r'_2, etc.

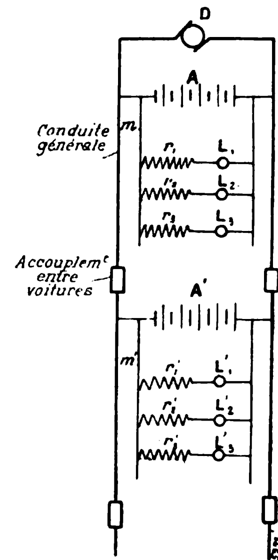


Fig. 4. — Schéma de l'éclairage électrique d'un train de l'Etat prussien.

Turbine dynamo. — Le groupe générateur, pesant environ 600 kg, et composé d'une turbine Laval et d'une dynamo (fig. 5 et 6), est monté sur une plate-forme AA′ fixée, par des brides rivées, sur l'enveloppe du corps tubulaire B de la chaudière, entre le dôme de vapeur X et les soupapes Y. Il est assez long et haut, mais a peu de largeur (voir les dimensions sur les figures 5 et 6), de sorte qu'il n'empêche pas le mécanicien de surveiller la voie par les châssis vitrés *d* (fig. 5) situés vers les bords de la paroi avant de l'abri D. La vapeur est prise sur le côté gauche du dôme, par un tube C (fig. 6) muni d'une valve C_2 commandée par une tige C_3 longeant le corps tubulaire B et se terminant par un volant C_4 situé à l'intérieur de l'abri D. La vapeur se rend par un tuyau CC_1 à la partie supérieure C_1 de la turbine F ; après avoir passé par le régulateur, situé en f_1, elle pénètre dans les roues, situées en f_2, par trois buses réglables et s'échappe dans l'atmosphère par un orifice latéral. L'extrémité m_1 de l'arbre de la turbine tourne dans un coussinet à billes. La turbine a une puissance de 15 chevaux et une vitesse angulaire de 20000 tours par minute; cette vitesse est réduite à 2000 tours par un train d'engrenage logé dans une boîte H munie de 4 paliers h_1, h'_1, h_2, h'_2. La turbine et la boîte à engrenages sont protégées de la poussière par une enveloppe extérieure J qui laisse passer les bouchons des 8 graisseurs à godets de la machine et des 4 de la boîte à engrenages, et porte des regards vitrés permettant de voir l'écoulement d'huile de ces graisseurs. La dynamo K, qui est un peu désaxée par rapport à la turbine (fig. 5), est du type cuirassé, et ses 2 coussinets à bagues k_1 k_2 (croquis 6) sont rapportés sur des flasques latérales ; son arbre est réuni à celui sortant de la boîte d'engrenage H par un petit plateau I à accouplement

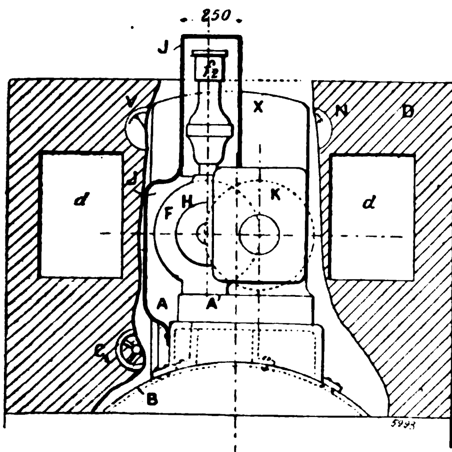


Fig. 5. — Vue transversale d'une locomotive équipée pour l'éclairage électrique des trains.

(1) Voy. *L'Éclairage Électrique*, 17 janvier 1903, t. XXXIV, p. XLI.

élastique en cuir. Son bâti entièrement fermé dispense d'une enveloppe protectrice ; on peut accéder aux balais, qui sont verticaux, par 2 portes latérales du bâti.

La dynamo, d'une puissance de 15 kilowatts ou de 20 chevaux électriques, peut fournir 180 ampères, et sa force électromotrice peut varier de 65 à 90 volts. Les fils venant de la dynamo se rendent dans l'abri du mécanicien D par un tube en fer.

A l'intérieur de cet abri sont placés, outre le volant C_4 de la turbine, sur la paroi interne avant, 1 ampèremètre N et 1 voltmètre V, et, sur la paroi latérale de droite 1 interrupteur T_1, 1 disjoncteur automatique T_2 et un rhéostat R. Le voltmètre est muni d'un commutateur V_1 permettant de mesurer la tension, soit de la dynamo, soit des lampes alimentées par les accumulateurs seuls ; le disjoncteur a été installé dans le but d'empêcher les

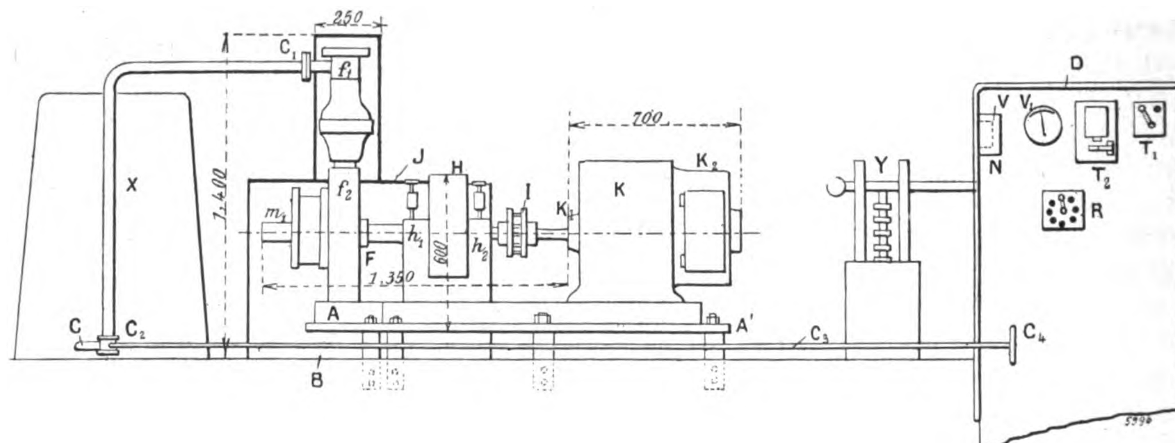


Fig. 6. — Vue longitudinale d'une locomotive équipée pour l'éclairage électrique des trains.

accumulateurs de se décharger sur la dynamo si la force électromotrice de celle-ci tombe subitement très bas par une cause accidentelle, cas qui s'est présenté une fois au début des essais. Le rhéostat intercalé dans le circuit inducteur shunt de la dynamo est destiné au réglage de la force électromotrice de cette dernière.

Dans l'abri se trouve encore une lampe colorée en rouge, branchée directement sur la dynamo, et une résistance fixe de grande valeur, branchée en permanence aux bornes de la dynamo et destinée à éviter l'effet nuisible de l'extra courant au moment de la rupture du circuit.

Appareils d'accouplement. — Une canalisation principale règne sur toute la longueur du train, elle est composée de 2 gros câbles disposés dans 2 tuyaux à l'intérieur de la voiture et aboutissant à une douille d'accouplement ; la liaison entre deux voitures se fait à l'aide d'un câble mobile, dont les deux extrémités munies de chevilles de contact viennent s'emmancher dans la douille de chacun des véhicules voisins. Ce câble mobile se compose de 2 conducteurs isolés d_1 d_2 (fig. 7), recouverts d'une gaine en cuir et aboutissant l'un d_1 à une tige centrale massive en laiton g_1 (lettre oubliée sur la figure), l'autre à une couronne en laiton également massive g_2. Ces 2 pièces de contact se trouvent montées à l'intérieur d'un manchon en fonte d formant enveloppe protectrice. Les pièces de contact fixes sont constituées par des lames flexibles en laiton bien écroui formant enveloppes circulaire l_1 l'_1 et annulaire l_2 l'_2 aux 2 pièces mobiles correspondantes g_1 g_2. Ces pièces de contact sont montées à l'intérieur d'une douille cylindrique dans laquelle peut venir s'engager le manchon d, jusqu'à un cran d'arrêt K. Quand les voitures sont au repos, cette

douille est fermée par un couvercle M destiné à empêcher, autant que possible, l'introduction des poussières sur les contacts *l*. La manœuvre d'accouplement est très simple et très

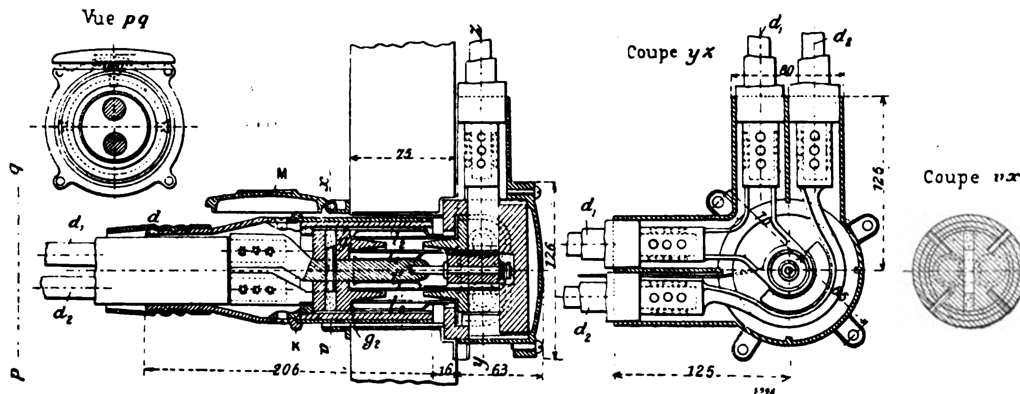


Fig. 7. — Vues diverses des appareils d'accouplement entre voitures.

rapide ; elle consiste simplement à enfoncer les deux manchons du câble (croquis 7) dans les douilles correspondantes ; il n'y a aucune orientation à donner aux manchons et il n'est pas possible de faire les connexions à l'envers.

Équipement des voitures. — Le parcours de Berlin à Sassnitz comprend 3 portions de trajets différentes : de Berlin à Stralsund port de la Baltique, sur le continent ; de Stralsund à Bergen, traversée d'un bras de mer et de Bergen à Sassnitz, parcours dans l'île de Rügen. Le train comprend 2 parties : une première partie composée d'un fourgon, 1 voiture mixte de 1re et de 2e classe, 1 voiture de 3e classe, 1 restaurant, est seule embarquée à Stralsund sur un bac à vapeur de 180 m de longueur et continue son trajet dans l'île de Rügen jusqu'à Sassnitz. On laisse à Stralsund la queue du train comprenant une voiture mixte de 1re et 2e classes et 2 voitures de 3e classe.

Tous ces véhicules à bogies, quoique très confortables ne sont pas tout à fait du dernier type. Ils étaient munis précédemment de lanternes à gaz dans lesquelles on a substitué simplement (parce qu'il ne s'agissait que d'un train d'essai) des réflecteurs électriques aux réflecteurs à gaz.

Les lampes sont de 48 volts ; les batteries d'accumulateurs, de 32 éléments, présentent une tension variant de 62 à 72 volts environ, suivant qu'elles sont reliées ou non à la dynamo. La différence entre cette tension et celle de 48 volts des lampes est absorbée par la résistance de réglage en fer des lampes.

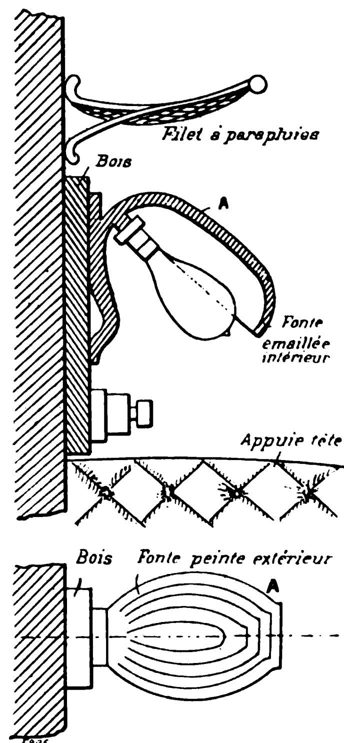


Fig. 8. — Couple et plan d'une lampe applique de lecture (1er dispositif.)

Dans les compartiments de 1re et 2e classes, les lanternes à gaz, du type ordinaire allemand, sont placées à l'angle du lanterneau ; on y a mis des lampes électriques de 20 bougies en 1re et 16 bougies en seconde. Une des 2 lampes du compartiment peut être éteinte par le conducteur du train à l'aide d'une clé carrée agissant sur un petit interrupteur placé dans le couloir. Cette réduction de l'éclai-

rage est effectuée régulièrement à partir de Stralsund dans la voiture mixte et dans le wagon restaurant qui vont à Sassnitz. Les voyageurs, aussi bien en 1re et 2e classes qu'en 3e classe, ne peuvent éteindre ou mettre en veilleuse les lampes de plafond ; s'ils veulent dormir, ils cachent ces lampes par des stores.

Dans les compartiments de 1re et 2e classes, on a placé, en outre, au-dessus du dossier des fauteuils de chaque banquette, 2 lampes de lecture de 6 bougies, soit 4 lampes par compartiment, que les voyageurs peuvent allumer à l'aide d'un petit interrupteur à main semblable aux nôtres. La disposition de ces lampes appliques est assez curieuse. Elles sont en verre ordinaire et placées (figure 8) dans une sorte de coquille en fonte A, vernie extérieurement en jaune mat, qui les protège très bien de l'atteinte des bagages sortis du filet, et dont l'intérieur émaillé forme réflecteur. L'interrupteur est au-dessous de la coquille.

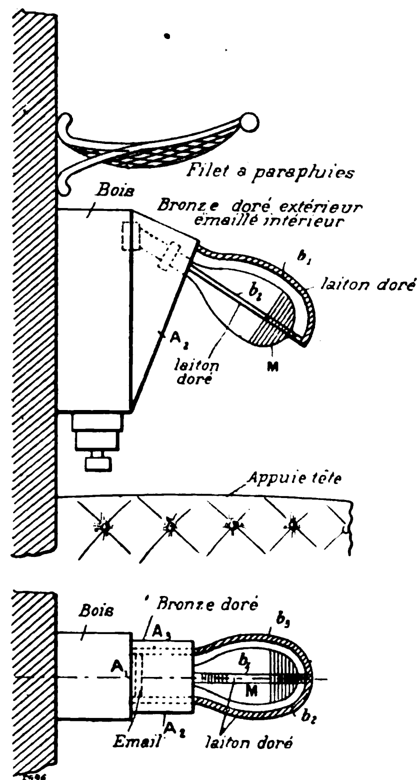


Fig. 9. — Coupe et plan d'une lampe applique de lecture (2e disposition.)

Dans un compartiment de 1re classe on a pris, à titre d'essai, une autre disposition (fig. 9) : le culot et la base de la lampe sont placés dans une sorte de niche en porcelaine A_1 A_2 A_3, formant intérieurement réflecteur, et recouverte extérieurement d'une enveloppe en laiton doré ; l'ampoule proprement dite est protégée seulement par 3 tiges recourbées b_1, b_2, b_3 en laiton doré, mais a son extrémité M dépolie. C'est cette dernière disposition qui, je crois, sera seule adoptée sur les nouveaux trains.

On a placé dans les lanternes à gaz des couloirs et water-closets des lampes de 12 bougies, aussi bien dans les voitures de 3e classe que dans les mixtes de 1re et 2e classes.

Ces dernières, qui contiennent 36 places, comportent un éclairage général de 356 bougies, et l'éclairage total peut atteindre le chiffre énorme de 524 bougies lorsque toutes les lampes de lecture sont toutes allumées. Lorsque la moitié des lanternes des compartiments sont éteintes, l'intensité lumineuse totale d'une voiture mixte varie entre 232 et 400 bougies suivant la quantité de lampes de lecture allumées.

Dans chaque compartiment de 3e classe à 8 places se trouve une lampe de 20 bougies montée sur un réflecteur, dans la lanterne à gaz située au milieu du lanterneau de la voiture. Une voiture de 3e classe à 64 places a un éclairage total invariable de 232 bougies.

La voiture restaurant comprend en dehors d'un water-closet et de 2 compartiments de 1re classe éclairés comme dans les autres voitures, une petite salle de restaurant, éclairée par 3 lampes de 20 bougies disposées dans les 3 lanternes à gaz existantes et par 6 appliques de 6 bougies. Ces lampes, destinées à donner une lumière supplémentaire aux voyageurs qui veulent lire, sont placées sous des coquilles de même forme que les 1re et 2e classes mais en verre opale, et peuvent être allumées à l'aide de 6 petits interrupteurs à main placés au-dessous de l'applique à la disposition du public ; 3 de ces lampes peuvent en outre être éteintes d'une façon permanente par le conducteur du train à l'aide de 3 inter-

rupteurs manœuvrables par la clé carrée. La cuisine, qui fait suite à la salle de restaurant, possède 2 lampes de 12 bougies disposées dans les lanternes à gaz de pavillon. L'intensité lumineuse totale varie dans cette voiture, suivant le nombre de lampes de lecture allumées par les voyageurs, de 232 à 306 bougies pour l'éclairage en plein, et de 200 à 266 bougies lorsque l'éclairage est réduit dans le restaurant et les compartiments de 1re de la voiture, durant le trajet de Stralsund à Sassnitz.

Le fourgon renferme 4 lampes de 16 bougies dans les lanternes de pavillon et 4 lampes de 12 bougies que l'on peut déplacer et éteindre à volonté : l'éclairage général est donc de 64 bougies, et atteint 88 bougies s'il y a en plus 2 lampes portatives allumées ; les 4 lampes portatives ne sont jamais allumées toutes ensemble.

Les lampes ont une consommation spécifique de 3 watts par bougie : les lampes de 20 bougies prennent à la tension de 48 volts 1,2 ampère, celles de 16 bougies 1 ampère, celles de 12 bougies 0,8 ampère et celles de 6 bougies 0,4 ampère.

L'éclairage général du train pendant la marche avec dynamo représente donc, à la tension de 70 volts, une puissance électrique de 10 chevaux, qui pourrait monter à 13 chevaux si toutes les lampes de lecture étaient allumées à la fois, ce qui n'arrive pour ainsi dire jamais. La turbine à vapeur de 15 chevaux est donc assez forte pour parer à la demande maximum de force, et la dynamo d'une puissance de 20 chevaux est plus que suffisante pour le service considéré.

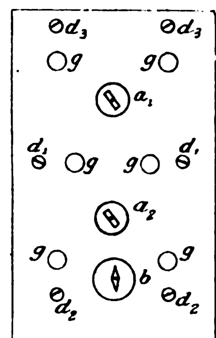


Fig. 10. — Tableau de distribution d'une voiture.

Les résistances en fer ont la forme de lampes à incandescence allongées de 10 cm de longueur, montées sur des douilles ordinaires, et disposées par 2 ou 3 dans de petits coffrets, à plaque de tôle ajourée, fixés contre les parois des couloirs.

Chaque voiture comporte un petit tableau de distribution (fig. 10) auquel aboutissent, au milieu, les deux fils de la conduite générale (bornes d_1), en bas les deux fils de la batterie (bornes d_2), en haut les 2 fils de la canalisation de départ de la voiture (bornes d_3). Chacun de ces fils est muni d'un plomb fusible g ; le tableau porte en outre un interrupteur bipolaire principal d'éclairage a_1 pour éteindre toute la voiture, un interrupteur bipolaire a_2 permettant d'isoler la batterie et une boussole b dont l'aiguille indique si la batterie est en charge, en parallèle avec la dynamo, ou en décharge seule. Ce petit tableau est placé dans une armoire du couloir ou dans le petit compartiment de service du personnel du train, sur les voitures qui en comportent. Dans l'une des voitures, l'indicateur de courant est visible dans le couloir, et à côté se trouve un voltmètre également visible indiquant, d'une façon permanente, la tension des accumulateurs, et gradué de 55 à 90 volts.

La première lampe de la plate-forme de chaque voiture est branchée sur les fils de la batterie avant leur arrivée au tableau, c'est-à-dire qu'elle est alimentée par les accumulateurs seuls et ne reçoit aucun courant de la conduite générale venant de la dynamo.

Accumulateurs. — Les véhicules qui s'arrêtent à Stralsund portent une batterie d'accumulateurs logée dans deux coffres fixés sous le châssis ; ceux qui vont jusqu'à Sassnitz ont deux batteries placées dans 4 coffres, sauf le fourgon qui n'a qu'une batterie.

Chaque batterie se compose de 32 éléments Tudor, 75 ampères-heure de capacité. Les 32 éléments sont répartis dans 4 boîtes (de 4 éléments) réunies entre elles par des connexions à fiches.

Le poids d'accumulateurs est de 560 kg sur les 3 voitures n'allant qu'à Stralsund et sur

le fourgon, et de 1 120 kg sur les 3 voitures allant à Sassnitz, soit au total 5 600 kg environ pour le train entier, et 3 920 kg pour les 4 véhicules allant jusqu'à Sassnitz.

Le service de nuit du train de Suède est effectué à l'aide de 2 trains ayant un roulement de 2 jours. Chaque train part à 7 heures du soir de Berlin, arrive au port de Stralsund à 11 h. 22 du soir ; la partie qui va jusqu'à Sassnitz traverse l'eau sur le bac, aborde Bergen, dans l'île de Rügen, à minuit 32 et à 1 h. 25 du matin à Sassnitz où a lieu l'extinction à 1 h. 35 du matin. Le train repart dans l'après-midi, à 2 h. 25 de Sassnitz, arrive à Bergen à 3 h. 23 du soir, passe sur le bac et arrive à 4 h. 33, à Stralsund où l'on accroche les 3 voitures supplémentaires laissées la veille sur le continent ; le train ainsi complété arrive à Berlin à 8 h. 40 du soir deux jours après son départ.

A l'aller, le train est éclairé pendant tout le trajet sur le continent, de Berlin à Stralsund, c'est-à-dire pendant 4 heures et demie, et, sauf incident, c'est la dynamo qui assure entièrement cet éclairage. Au retour la dynamo doit également, au cœur de l'hiver, fournir du courant aux lampes pendant toute la durée du trajet de Stralsund à Berlin, mais dans l'été la durée d'éclairage est plus faible et peut descendre à 1 heure, ce qui permet de faire travailler la dynamo pendant le reste du temps sur les accumulateurs seuls pour les charger à fond.

La locomotive munie du groupe générateur ne passe pas l'eau et la rame est remorquée dans l'île de Rügen par une locomotive non équipée électriquement. Les accumulateurs restent donc seuls pour assurer l'éclairage (réduit légèrement comme il a été expliqué plus haut) de Stralsund à Sassnitz et retour. Mais, sauf dans le cas de grand brouillard, il n'y a pas besoin d'allumer pendant tout le trajet de retour, de sorte que l'éclairage par batteries isolées dure normalement 2 heures un quart seulement. Si l'on se reporte à la consommation des voitures, on voit que pour la partie du train s'arrêtant à Stralsund les accumulateurs qui, normalement n'ont jamais de courant à fournir, présentent : pour les voitures de 3e classe, une réserve de 5 heures ; pour les voitures de 1re et 2e classes, une réserve de 2 heures un quart, en supposant toutes les lampes de lecture allumées, de 3 heures si l'on éteint toutes celles-ci et de 4 ou 5 heures pour les mêmes cas lorsque l'éclairage des compartiments est réduit de moitié. Pour la partie du train allant à Sassnitz, si l'on déduit les 2 heures un quart d'éclairage réduit (toutes les lampes de lecture supposées allumées pendant cette période) demandé aux batteries seules, les accumulateurs présentent encore, au minimum, une réserve variant suivant le nombre de lampes éteintes de 8 à 14 heures pour le fourgon, de 8 heures pour la voiture de 3e classe, de 2 heures trois quarts à 6 heures pour la voiture mixte de 1re et 2e classes et de 5 à 8 heures pour le wagon restaurant. Cette réserve est suffisante pour ne pas avoir à craindre le manque de lumière dans le cas d'un incident mettant, en cours de route, la dynamo hors d'état de fournir du courant.

C'est la même machine qui fait le parcours complet de 4 heures de Berlin à Stralsund ou *vice versâ*. Il n'y a ainsi que 2 locomotives équipées, et il n'y a à faire en cours de route aucune manœuvre d'accouplement de la conduite générale électrique.

Voici les opérations que j'ai vu effectuer sur le train. Lorsque la machine vient se mettre en tête du train les hommes de la gare font l'accouplement de la conduite générale électrique. Le mécanicien ou le chauffeur remplit les graisseurs d'huile, ouvre les graisseurs à godets et en règle le débit (qu'il voit à travers des regards de l'enveloppe protectrice de la turbine) à 5 ou 6 gouttes à la minute. Il faut mettre de l'huile dans ces graisseurs toutes les 4 heures environ (ce qui représente la durée du trajet simple), ceux à bagues de la dynamo peuvent marcher deux mois sans avoir besoin d'être remplis. Le mécanicien met en marche le groupe générateur en ouvrant en grand le volant d'admission de vapeur placé

à sa gauche, puis en tournant la manette du rhéostat placé à sa droite jusqu'à ce que le voltmètre indique 68 volts environ comme force électromotrice de la dynamo. Il ferme ensuite l'interrupteur principal et ne s'occupe pour ainsi dire plus des appareils ; en cours de route il se contente de jeter un coup d'œil, de temps en temps, sur le voltmètre, pour vérifier que la tension de la machine ne dépasse pas 72 volts; c'est-à-dire 2,2 volts seulement par élément. Les accumulateurs ne reçoivent donc pour ainsi dire aucun courant de charge pendant le voyage d'aller; ils n'en ont pas besoin puisqu'ils ne fournissent aucun courant pendant cette période. Lorsque le train, au retour, part de Stralsund à 4 h. 33, il fait généralement encore clair et le mécanicien en profite pour recharger à fond les accumulateurs qui, dans les voitures ayant été à Sassnitz ont fourni seuls 2 h. 1/2 d'éclairage avant que le train soit éclairé, en élevant la tension de la dynamo à 90 volts. En hiver, où on allume le train dès le départ de Stralsund et où le mécanicienn'a par conséquent pas le temps de recharger les batteries avant l'allumage, il effectue la recharge des accumulateurs en maintenant, pendant la période d'éclairage la dynamo de 80 à 85 volts, de façon à ce qu'elle envoie du courant dans les batteries en même temps que dans les lampes ; il est d'ailleurs averti d'une anomalie dans la marche de la turbine-dynamo s'il voit la lampe rouge de contrôle de la locomotive s'éteindre ou devenir pâle. On pourrait d'ailleurs donner au mécanicien la consigne uniforme de marcher à 80 volts quel que soit le roulement du train ; il en résulterait simplement dans certains cas, une fatigue des accumulateurs par surcharge ; mais les mécaniciens sont des agents assez intelligents pour qu'on puisse changer légèrement leur consigne suivant le roulement des trains qu'ils conduisent.

Les appareils du train proprement dit sont placés sous la surveillance d'un visiteur de route qui accompagne le train et s'occupe de l'éclairage, du chauffage, etc. Le visiteur procède à l'allumage et à l'extinction générale des voitures par les interrupteurs principaux ; il éteint à Stralsund, à l'aide des petits interrupteurs à clef carrée du couloir, la moitié des lampes des compartiments de 1re et 2e classes et des lampes de lecture du restaurant. Il vérifie en cours de route, par les indications des boussoles des voitures et surtout du voltmètre visible dans le couloir, que tout fonctionne régulièrement; dans le cas où il voit dans un véhicule, la première lampe de plate-forme, alimentée par les accumulateurs seuls comme il a été dit plus haut s'éteindre ou s'affaiblir, ce qui indique que la batterie correspondante a une avarie, il isole cette batterie à l'aide de l'interrupteur inférieur du tableau de la voiture. Il vérifie ensuite au terminus, à l'aide d'un voltmètre qu'il possède, les diverses boîtes d'accumulateurs, de façon à signaler celle qui est défectueuse. Les accumulateurs sont revisés périodiquement et réparés dans le dépôt de la gare de Berlin-Stettin.

Pendant toute la durée du parcours de Berlin à Stralsund, pendant lequel la dynamo fonctionnait, je n'ai pu constater aucune variation dans l'intensité lumineuse des lampes; la tension dans la conduite générale, que je lisais sur le voltmètre visible dans le couloir d'une des voitures, n'a d'ailleurs pas varié beaucoup : de 67 volts elle est montée à 70 volts environ.

Au point de vue de l'éclairement, l'installation offre un luxe considérable. La lampe de 20 bougies, placée au milieu des 8 places de 3e classe, ou les 60 bougies données par les 3 lampes qui éclairent les grands compartiments de 3e classe à 3 doubles banquettes à 4 places, permettent de lire sans difficulté. L'éclairage a été doublé, puisque les becs anciens de 25 litres de gaz mélangé d'acétylène donnaient environ 10 bougies décimales. Dans les compartiments de 1re et 2e classes, les 2 lanternes à gaz mixtes avaient des brûleurs de même type et fournissaient par conséquent une intensité lumineuse de 20 bougies.

Dans les petits compartiments de 1re classe à 4 places, les 2 lampes électriques de pavillon donnent déjà un éclairage général intense de 40 bougies ; si, en outre, on allume les 4 lampes appliques (ce qui porte l'intensité lumineuse totale au chiffre considérable de *64 bougies*), situées au-dessus et à très peu de distance des voyageurs, et dont les réflecteurs renvoient la lumière vers le bas, on peut lire à peu près comme en plein jour. La différence d'éclairement n'est pas appréciable à l'œil entre les compartiments de 1re et ceux de 2e classe, qui contiennent 6 voyageurs mais qui ont exactement la même capacité et ne reçoivent que 8 bougies de moins qu'en 1re classe : 32 bougies par les lampes de pavillon et 56 bougies avec les lampes de lecture ; seuls les objets en lecture sont un peu moins éclairés qu'en 1re, parce que les lampes appliques se trouvent entre les voyageurs au lieu d'être directement au-dessus d'eux.

Les essais entrepris par les chemins de fer de l'Etat prussien ont une grande importance. Ils ont montré que le système de self-régulation par lampes à incandescence en fer de l'Allgemeine Electricitæts Geselschaft et de la Société Tudor permet d'obtenir, pour les trains entiers alimentés par une dynamo commandée par un moteur à vapeur et des accumulateurs disposés simplement en parallèle, une tension parfaitement constante, résultat qui n'avait pas encore été obtenu.

Grâce à ce procédé nouveau de régulation automatique, qui dispense de tout appareil mobile électrique ou mécanique, le système d'éclairage des trains en bloc par un groupe générateur placé sur la locomotive devient suffisamment simple et robuste pour entrer dans la pratique des chemins de fer. En effet, les essais ont prouvé, que la conduite de la dynamo et de la turbine à vapeur, qui restent les seuls organes mobiles de l'installation, n'offre aucune difficulté pour le mécanicien. Les accouplements entre voitures, dont beaucoup de compagnies s'effraient à tort, ne paraissent devoir causer aucun ennui, d'après ce qu'en a dit M. Wichert, conseiller supérieur des chemins de fer, dans une conférence à la Société des Ingénieurs mécaniciens [1] ; les accumulateurs sont encore les appareils qui exigent le plus de surveillance et d'entretien, mais les soins qu'ils demandent se trouvent réduits en raison du rôle secondaire qui leur est attribué.

Au point de vue général de l'éclairage des trains, les essais ont montré que l'électricité lorsqu'elle est produite par une source unique dans le train même et qu'on peut par suite l'employer sans parcimonie, permet d'obtenir des éclairements superbes qu'il paraît difficile de réaliser, surtout en ce qui concerne la facilité de lecture, avec le gaz, même mélangé d'acétylène. En effet, au delà d'un certain débit, les becs à gaz placés dans une lanterne ne fonctionnent plus bien : l'intensité lumineuse la plus forte qui ait été réalisée avec le gaz dans les compartiments est celle donnée par une lanterne à 3 becs de 18 litres de gaz mixte donnant ensemble 25 bougies environ, mais c'est là le maximum de ce qu'on peut atteindre pratiquement, car les lanternes à gaz à plus d'un brûleur sont trop volumineuses pour qu'on puisse raisonnablement en mettre deux dans un petit compartiment de voiture à couloir. En outre, le gaz ne permet pas d'abaisser les brûleurs tout près des voyageurs comme dans les appliques électriques, qui fournissent ainsi un éclairement considérable sur l'objet en lecture, quoique les foyers lumineux ne soient pas très gros.

Au point de vue du prix de revient, on comprend facilement qu'un système tel que celui de l'Etat prussien, dans lequel l'énergie ne coûte presque rien et dans lequel les dépenses d'amortissement, au lieu de porter sur autant de petites installations assez compliquées comme dans les systèmes auto-générateurs par voitures isolées, porte sur un groupe géné-

---

[1] Voy. Les *Annales de Glaser*, août 1902.

rateur unique et simple, doit être notablement plus économique, à intensité lumineuse égale, que celui de l'éclairage au gaz, pour des trains ayant de longues durées d'éclairage; et présente d'autant plus d'avantages que l'éclairage est plus intense, parce que les frais d'amortissement, qui sont ici les plus importants, augmentent très peu avec la puissance lumineuse, tandis que la consommation de gaz reste proportionnelle à cette puissance. Aussi ce système convient-il tout particulièrement aux grands trains à intercirculation allemands.

Il est à remarquer que les dépenses d'amortissement et surtout d'entretien des accumulateurs, et par suite le prix de revient de l'éclairage électrique, dans le système de l'État prussien, pourraient être réduits sensiblement, si l'on se contentait de placer sur le train une seule batterie (ou au plus deux dans le cas de difficultés d'encombrement et de poids) de gros accumulateurs, au lieu de mettre une petite batterie sur chaque voiture. Cette dernière méthode rend évidemment les voitures plus indépendantes; mais cette indépendance n'est pas utilisée sur le train de Berlin à Sassnitz et n'est pas nécessaire non plus, je crois, sur les trains de Hambourg en cours de montage; elle ne présente d'intérêt que dans le cas particulier de voitures détachées isolément sur de petits embranchements. Pour ces cas restreints on pourrait, semble-t-il, admettre une spécialisation de matériel; c'est-à-dire munir seulement de petites batteries les voitures destinées à ces services et ne pas mettre de batteries sur le reste du matériel, qui fonctionnerait dans les trains avec une ou deux grosses batteries de fourgon.

La Direction de Berlin a été si satisfaite des résultats obtenus sur le train de Sassnitz qu'après seulement trois mois d'essais elle a décidé, en juillet dernier, d'appliquer le même système à 2 trains « D » de service Berlin-Hambourg. L'équipement de ces trains, a été confié aux mêmes constructeurs que précédemment. La Société Tudor a fourni des accumulateurs de même capacité et l'Allgemeine Electricitats Geselchaft, chargée de l'installation électrique des voitures a placé les lampes électriques de pavillons sur des supports spéciaux [1]. Le groupe générateur, fourni par les ateliers Humboldt de Kalk, comprendra encore une dynamo de 15 kilowatts ou 20 chevaux électriques, mais la puissance de la turbine Laval sera portée de 15 à 20 chevaux, parce que la composition des trains de Hambourg est plus forte que celle des trains de Sassnitz.

La seule partie de l'installation qui puisse donner lieu à critique, mais aussi à perfectionnement, est le moteur à vapeur. La turbine Laval a en effet l'inconvénient de consommer beaucoup de vapeur. M. Wichert, conseiller supérieur de construction, dans une conférence à la Société des Ingénieurs mécaniciens, a indiqué la valeur de 20 kg de vapeur par cheval et par heure. Je ne serais pas étonné, qu'en pratique ce chiffre soit dépassé, car d'après les renseignements qui m'ont été fournis par la Compagnie des wagons-lits les turbines Laval de 10 chevaux installées dans les fourgons du Transsibérien en 1900 ont demandé, pendant les essais effectués à Saint-Denis de la Compagnie des Wagons-Lits, 28 kg de vapeur par cheval et par heure. L'État prussien, tout en estimant que les locomotives puissantes actuelles sont capables de fournir sans gène sensible les 400 à 500 kg de vapeur que demande une turbine Laval de 20 chevaux, a l'espoir, disait M. Wichert dans sa conférence, que l'on arrivera à construire des moteurs à vapeur consommant moins de vapeur et pourtant suffisamment robustes pour le but cherché.

[1] L'éclairage électrique permet, en effet, des motifs de décoration plus agréables que le gaz. Dans cet ordre d'idée, j'ai vu récemment, sur des voitures neuves à lanterneau du Jura neufchatelois, de petits pendentifs électriques, dans lesquels la lampe est très abaissée et qui sont d'aspect beaucoup plus léger que les lanternes à gaz du type allemand.

Dans cet ordre d'idées, la *Kieler Machisnenbau Actiengesellschaft* de Kiel a déjà proposé à l'État prussien, l'année dernière, de remplacer sur les locomotives la turbine Laval par un moteur rotatif à vapeur Hult de 20 chevaux, pour lequel elle garantissait une consommation de vapeur de 16 kgs par cheval.

Visite aux ateliers de la Keiler Maschinenbau Actiengesellschaft de Kiel. — Cette Société est concessionnaire, pour l'Allemagne, depuis un an environ, du moteur suédois Hult, dont un modèle figurait à l'Exposition de 1900 à Paris, et qui est construit en France depuis un an par la Compagnie générale électrique de Nancy.

Le moteur Hult, construit à Stockholm depuis 1898 par une Société ne fabriquant pas d'autres appareils, n'est pas une turbine dans laquelle la vapeur agit par force vive sur une roue à aubes; c'est une machine à pression et détente, mais dans laquelle le piston B

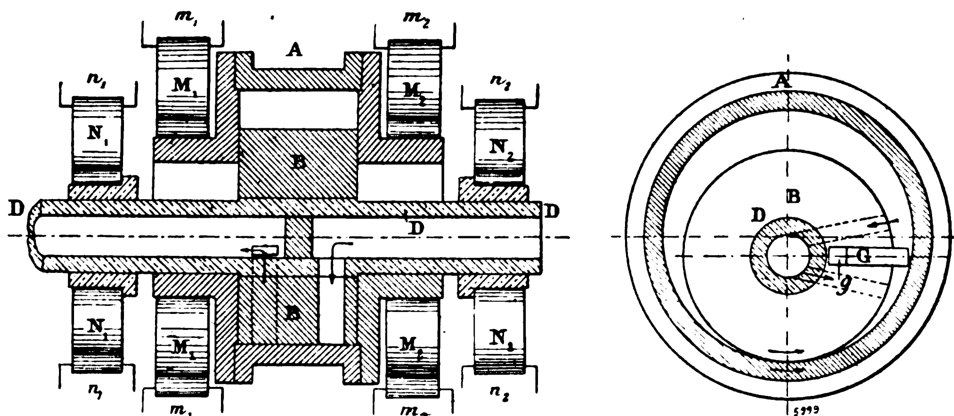


Fig. 11. et 12. — Coupe longitudinale et transversale d'un moteur rotatif à vapeur Hult.

fig. 11 et 12) a un mouvement circulaire à l'intérieur du cylindre A au lieu d'un mouvement rectiligne alternatif; les phases de la distribution sont les mêmes que dans les moteurs ordinaires : admission, détente, échappement, mais ont lieu circulairement et sont produites à l'intérieur de l'arbre creux D du piston.

Les moteurs rotatifs à vapeur sont d'invention très ancienne, mais ils ont toujours échoué à cause de la grande consommation de vapeur qu'ils demandaient au début et surtout de celle qu'ils prenaient au bout de peu de temps, par suite du défaut d'étanchéité et du frottement entre le piston mobile B et l'intérieur ou les fonds du cylindre A. La difficulté aurait été surmontée dans le moteur Hult, d'après les constructeurs, en laissant tourner le cylindre A en même temps que le piston B, par adhérence de celui-ci. A cet effet, la face extérieure du cylindre A (fig. 11) roule sur deux couronnes M_1 M_2 de galets tournant dans des couronnes fixes en acier m_1 m_2. L'arbre creux D tourne également à ses deux extrémités dans deux couronnes de galets N_1, N_2 roulant sur des couronnes fixes n_1, n_2. Les constructeurs affirment que, grâce à cette disposition, on peut obtenir une étanchéité presque parfaite du piston B à l'intérieur et sur les fonds du cylindre A et que, par suite de l'annulation presque complète du frottement entre ces deux organes, il ne se produit pas de jeu appréciable entre eux : comme conséquence, la consommation de vapeur se maintiendrait relativement faible, et comparable, pour les puissances de 50 à 100 chevaux, à celle des moteurs ordinaires à grande vitesse, 12 à 10 kg par cheval-heure, et en tout cas bien inférieure à celle des turbines à vapeur qui n'ont un bon rendement que pour les puissances

de plusieurs centaines de chevaux et dont la consommation de vapeur, surtout dans les petits modèles, augmente encore après peu de temps d'usage.

Les moteurs Hult sont un peu plus lourds que les turbines à vapeur, mais ils sont aussi rustiques et au moins aussi réduits comme dimensions que ces dernières.

Le moteur Hult possède un grand avantage sur les turbines à vapeur, c'est de fonctionner à une vitesse modérée permettant la commande directe, sans engrenages réducteurs, des appareils à grande vitesse, tels que dynamos, ventilateurs, etc. Les turbines à vapeur, surtout celles du type de Laval, ont en effet des vitesses considérables qui conduisent, même avec train réducteur, à faire tourner les dynamos trop vite. L'inconvénient est surtout sensible pour l'application particulière à l'éclairage des trains, où les appareils placés sur la locomotive ne peuvent être surveillés aussi attentivement que dans une usine et sont soumis à des trépidations continuelles. Par exemple, la vitesse de 2000 tours adoptée sur la dynamo du train de Sassnitz est trop élevée pour une génératrice de 15 à 20 chevaux et il en résulte quelquefois de petits incidents qui surviennent à la dynamo, tels que de mauvais contacts aux balais. A ce point de vue, un moteur Hult de 20 chevaux, dont la vitesse angulaire n'atteindrait que 1 000 tours par minute serait supérieur à la turbine Laval, parce qu'il rendrait la dynamo plus robuste.

Je crois même que l'on pourrait aller plus loin et confier à des mécaniciens des moteurs ordinaires à mouvement alternatif de piston qui permettraient de commander une dynamo à une vitesse raisonnable. L'appareil serait peut-être un peu moins robuste qu'une turbine ou un moteur rotatif, mais il consommerait un peu moins de vapeur. La question d'encombrement n'est pas un obstacle, comme on pourrait le croire, car non seulement on peut créer, mais il existe dès maintenant des types de moteurs pilons compound qui, accouplés à une dynamo avec train d'engrenages, ne dépassent pas, pour les puissances de 10 à 20 chevaux, les dimensions d'un groupe dynamo-turbine ou moteur rotatif (1).

Ch. Jacquin.

SUR LES SOUS-STATIONS TRANSFORMATRICES

POUR TRACTION OU ÉCLAIRAGE (2)

II. — Fonctionnement

Il n'y a à peu près rien à dire sur les *groupes asynchrones moteur-générateur*, tant est simple la nature du matériel, et son fonctionnement. Il faut recommander, cependant, de *marcher autant que possible à pleine charge* et de surveiller attentivement les *entrefers* des moteurs.

Quand le facteur de puissance de ceux-ci est inférieur à 90 p. 100 au-dessous de 3/4 de charge, l'avantage de la marche à pleine charge prend une importance toute particulière au point de vue, non seulement du rendement des machines, mais du fonctionnement de tout le réseau. En fait, il est même recommandé de surcharger modérément les groupes en marche, lorsque le service est sur le point d'exiger l'addition de nouvelles unités.

Quant à l'entrefer, il est fait mécaniquement aussi faible que possible pour l'aug-

(1) Je m'en suis rendu compte lorsque j'ai examiné le dispositif que je préconisais l'an dernier pour l'éclairage des trains entiers de banlieue sans accumulateurs. (Voy. *L'Éclairage Électrique*).

(2) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 41.

mentation du facteur de puissance de ces moteurs, et il devient nécessaire de le vérifier de temps à autre : avec les moteurs puissants la distance de fer à fer est ordinairement de 1/450 du diamètre de l'induit : ce qui fait qu'un moteur de 200 chevaux a un entrefer d'environ 2,5 mm, avec un diamètre d'induit de 1,40. Il faut donc s'opposer à toute diminution considérable d'entrefer, en raison de la traction magnétique qui en augmentera encore l'effet, même avec des arbres exceptionnellement rigides.

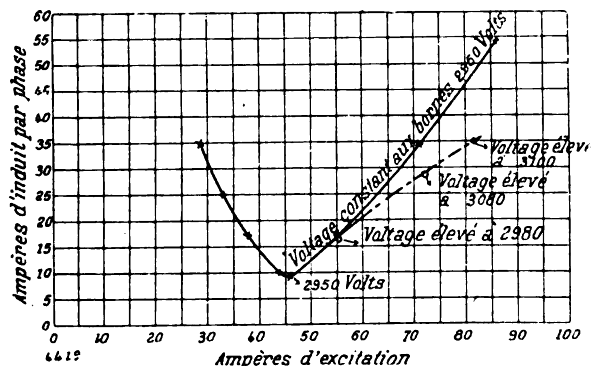


Fig. 4. — Caractéristique d'un moteur triphasé Kolbers de 650 chevaux.

L'enveloppe du stator de ces moteurs ne doit jamais venir de fonte avec la base, car si elle en est séparée cela permet l'insertion de légères cales de réglage entre les deux pièces, le retrait de ces cales permet ensuite de rétablir l'entrefer inférieur après une usure suffisante des coussinets.

Avec des sous-stations à *machines synchrones* (*moteur-générateur ou commutatrice*) il se présente quelques détails de fonctionnement intéressants :

Le premier c'est une régulation du facteur de puissance, déjà mentionnée dans l'étude des commutatrices : on peut le régler à toute charge de la machine, en ajustant l'excitation de champ.

La figure 1 donne les courbes d'un moteur triphasé Kolben de 150 chevaux, sur lequel ont été relevées aussi les courbes de la figure 6. La forme de la courbe en V à vide d'une machine synchrone donne de précieuses indications sur son fonctionnement. Une courbe aplatie indique que la capacité de surcharge du moteur est modérée et que pour une grande variation de charge il n'exigera que de faibles variations d'excitation, tandis qu'une courbe très inclinée indique qu'une machine doit toujours fonctionner avec une excitation convenablement réglée, sans quoi sa capacité de surcharge sera faible et sa marche en parallèle médiocre ; en même temps ce dernier type de courbe caractérise les machines à régulation de voltage très précise.

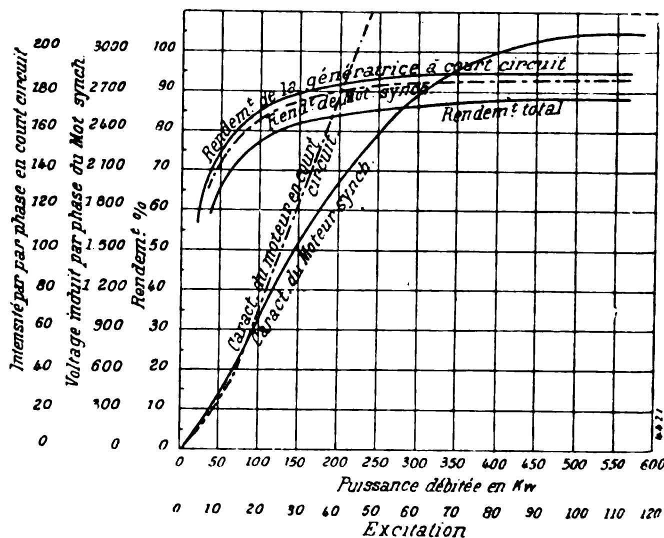


Fig. 5.

Une courbe en charge diffère par sa forme et par sa position, en raison de la dispersion dans l'induit (voir fig. 5). L'altération des courbes sous l'effet de la charge indique donc une valeur de la dispersion de l'induit : moins les courbes diffèrent et moindre est l'inclinaison de l'axe des minima sur la verticale, et surtout plus est faible la chute du voltage, et plus est faible l'augmentation d'excitation nécessaire pour le moteur en passant du vide à la pleine charge pour travailler dans les meilleures conditions de marche.

Les machines synchrones, motrices ou génératrices, doivent être étudiées de façon que la forme de leurs courbes en V soit intermédiaire aux deux limites ci-dessus mentionnées : elles donneront alors une excellente marche en parallèle, une grande capacité de surcharge et une bonne régulation de voltage et d'excitation.

On peut obtenir l'une ou l'autre de ces qualités au détriment des autres.

Dans le *fonctionnement en génératrice* la perte de voltage à pleine charge de la machine, à vitesse et excitation constantes, doit être fixée à 5 ou 6 p. 100 à facteur de puissance unité, et à 18 ou 20 p. 100 à facteur de puissance de 80 p. 100. On ne demande pas une meilleure régulation en pratique moderne avec des unités de puissance moyenne ou supérieure ; une régulation meilleure donnerait lieu à des courants synchronisants considérables

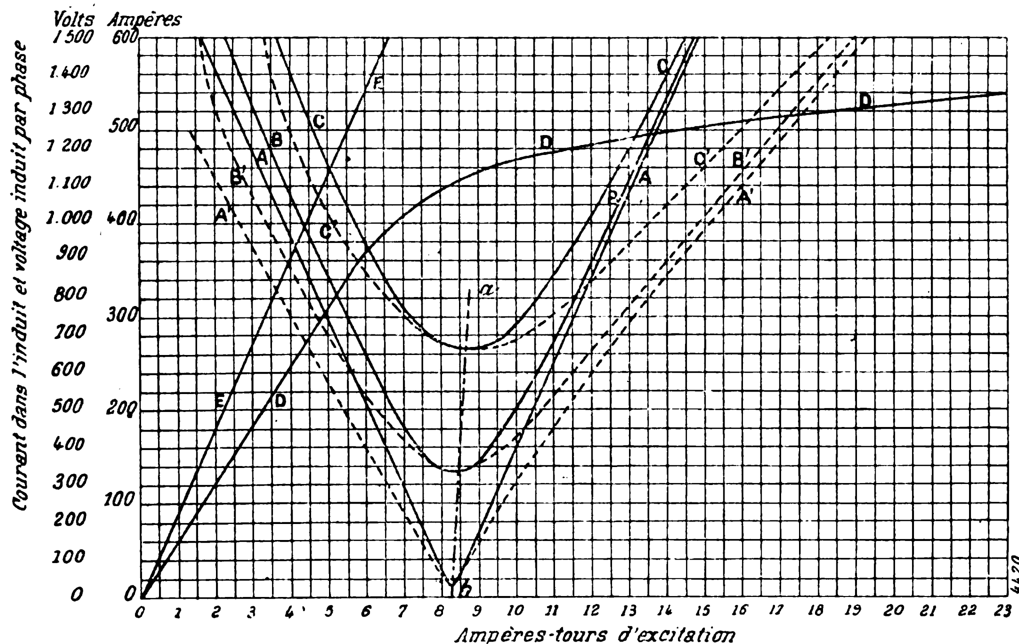


Fig. 6. — AA. Courbe en V à vide sans bobine de réactance ; BB. Courbe en V en charge 132 a. sans bobine de réactance ; CC. Courbe en V en charge 264 a. sans bobine de résistance ; A'A'. Courbe en V à vide avec bobine de réactance ; B'B'. Courbe en V en charge 132 a. avec hobine de réactance ; C'C'. Courbe en charge 264 a. avec bobine de réactance ; DD. Caractéristique à vide du moteur ; EE. Caractéristique en court-circuit du moteur.

entre les machines et produirait sur les commutatrices ou moteurs synchrones du réseau des oscillations pendulaires. Evidemment l'excellence de la régulation entraînerait aussi à des génératrices trop lourdes et trop coûteuses.

Revenons à la courbe en V, figure 4 : on voit que, quand la machine est à vide, à voltage appliqué constant de 2950 volts par phase, obtenu en réglant le voltage aux barres omnibus, l'excitation pour le courant minimum de 9,5 ampères est de 46 ampères ; en se reportant à la caractéristique à vide de la machine, on voit qu'avec le courant minimum on obtient un voltage réduit de 2 250 volts par phase. Avec le courant d'induit minimum à une charge donnée, la différence entre le voltage appliqué et la force contre-électromotrice, c'est-à-dire la différence entre 2950 et 2 250 dans le cas qui nous occupe, est une des quantités qui mesurent la valeur du moteur, au point de vue de sa régulation ; la différence entre les deux voltages dans ces circonstances est due à l'impédance de l'induit et aux oscillations du voltage et du courant qui se produisent avec des moteurs synchrones. A charge et à excitation constantes dans le moteur synchrone ou la commutatrice, la force électromotrice

****

change continuellement de phase par rapport au voltage appliqué, résultat dû aux variations de vitesse angulaire des génératrices et à l'effet d'inertie de la machine même. A voltage appliqué constant, si on diminue ou augmente l'excitation, diminuant ou augmentant ainsi la force contre-électromotrice, on provoque ainsi une augmentation assez rapide du courant, ou, par conséquent, de la puissance apparente, dans l'induit du moteur. A une charge donnée, pour toute valeur de l'excitation du moteur, la force contre-électromotrice a une valeur définie, mais prend une direction moyenne telle que la résultante de la force contre électromotrice et du voltage appliqué a une valeur égale au voltage d'impédance de l'induit. Si l'excitation est augmentée au delà de la valeur correspondant au facteur de puissance maximum, le voltage appliqué aux bornes des moteurs doit être en retard sur le courant pour que les relations ci-dessus se maintiennent, car le voltage d'impédance fait un angle de phase constant avec le courant pour une machine donnée. D'autre part, si l'excitation est inférieure à la valeur critique, le voltage appliqué doit alors être en avance sur le courant pour la même raison.

D'après la courbe en V si on connaît les différentes pertes et constantes des machines, il est possible de faire un calcul approché de l'avance ou du retard qui peut être donné au courant. Pour des moteurs de 650 chevaux à vide l'avance maxima paraît être d'environ 75°, tandis que le retard maximum est de 70° environ. En général, il n'est pas possible d'obtenir de la courbe en V une partie plus étendue que celle de la figure 4. Si on pousse plus loin les essais, le fonctionnement devient instable, donnant lieu aux mouvements pendulaires et au décrochage des machines.

Les deux branches d'une courbe en V, expérimentalement obtenues à vide, diffèrent un peu entre elles ; l'une est absolument rectiligne et l'autre est convexe. A cet égard ces courbes expérimentales diffèrent un peu des courbes théoriques dans lesquelles Steinmetz a montré qu'une branche est convexe et l'autre concave. Cette différence entre la théorie et la pratique est due à la réaction d'induit et à l'influence des hautes saturations des dents d'induit, quand le courant a une grande avance ou un grand retard.

La branche pointillée à droite de la courbe en V représente clairement ce qui se produit dans les installations de transport de force quand le voltage appliqué aux moteurs synchrones n'est pas maintenu constant, mais abandonné à lui-même. Le voltage aux extrémités des feeders s'élève graduellement quand croît l'excitation des machines synchrones. Dans ce cas la génératrice de 1 000 kilowatts alimentant le moteur en essai (par l'intermédiaire d'un long câble à 3 conducteurs) avait son excitation ajustée une fois pour toutes au commencement de l'essai, à une valeur telle que la force électromotrice appliquée au moteur était la même que ci-dessus, c'est-à-dire 2 950 volts, *quand le courant pris par l'induit du moteur était minimum.* Augmentant alors l'excitation du moteur synchrone on obtenait la courbe pointillée représentant l'augmentation du courant en avance pris par l'induit ; l'effet de ce courant en avance était d'élever le voltage du moteur, c'est-à-dire le voltage au bout d'un long feeder, de 2 950 volts à 3 100 volts. Donc la chute dans le feeder (d'inductance déjà considérable par lui-même et muni encore de bobines de réactance près de la génératrice) était d'abord supprimée et changée de sens jusqu'à un survoltage de 5 p. 100, par simple augmentation du champ du moteur. La fréquence était évidemment constante dans tous les essais, et par conséquent il en était de même de la vitesse du moteur.

On voit que ces machines peuvent avoir dans un réseau de transmission, auquel on les relierait, le même intérêt que les condensateurs : au lieu de donner dans tout le réseau un grand courant décalé en arrière, d'en compromettre la régulation et d'en dissiper l'énergie en tous points, elles permettent de maintenir constant le facteur de puissance, d'annuler

la chute de voltage dans les lignes, et enfin de supprimer toutes les pertes qui ne correspondent pas à des charges utiles, à moins qu'on ne désire profiter du courant considérable décalé en avance pour élever le voltage des sous-stations, comme on l'a vu plus haut.

Il est impossible, en donnant au moteur à vide l'excitation correspondant au courant minimum, d'obtenir dans le circuit un *facteur de puissance rigoureusement égal à l'unité*, cela veut dire que pour le minimum de la courbe en V, le courant n'est pas rigoureusement en phase avec le voltage appliqué : il l'est très approximativement, pas complètement, en raison de la différence des formes périodiques de voltage de la ligne et du moteur. Les moteurs synchrones de grande puissance, bien étudiés ont, généralement un facteur de puissance à pleine charge, qui atteint 96 à 98 p. 100, pour l'excitation correspondant au courant minimum.

En pratique, l'utilisation des propriétés des moteurs synchrones, au point de vue de la *régularisation des phases*, se fait de la manière suivante : Dans les sous-stations de commutatrices, si les machines sont compoundées, le facteur de puissance du réseau sera égal à 1 au voisinage de la 1/2 charge, le courant ayant un léger retard en-deçà et prenant de l'avance au delà de cette valeur, ainsi qu'on l'a déjà dit. En pleine charge la chute de voltage dans les lignes d'alimentation sera très largement compensée. Si on emploie des commutatrices à enroulement shunt ou des moteurs synchrones, le courant d'excitation est réglé de manière que le facteur de puissance est maximum vers les 3/4 de charge : il est moindre en deçà et au delà, sa valeur minima étant fixée, par exemple, à 95 p. 100.

Si l'installation doit être prévue pour de fortes surcharges, il est mieux de surexciter les machines à pleine charge, afin d'augmenter le voltage appliqué, surtout dans le cas de moteurs synchrones, car la capacité de surcharge augmente ainsi, le couple étant proportionnel au carré du voltage appliqué. Par conséquent, dans une sous-station à groupes moteurs générateurs synchrones ; si les machines sont bien étudiées il n'est pas nécessaire de varier continuellement l'excitation avec la charge, mais il est bon, en général, de faire deux réglages entre le vide et la pleine charge, d'après les données ci-dessus. La faible variation d'excitation nécessaire en pratique pour des motenrs bien étudiés, est parfaitement représentée par la figure 5.

Si une sous-station à machines synchrones est branchée sur des lignes alimentant déjà des charges inductives, il est bon d'équilibrer le retard de courant dû à ces charges, par l'avance de courant des machines synchrones : on devra donc étudier celles-ci de manière très large, afin qu'elles puissent supporter, en plus des courants de charge, des courants décalés en avance, pour effectuer la compensation, et pour le faire on augmentera leur excitation.

Capacité de surcharge des trois genres de machines étudiées ci-dessus. — Avec les sous-stations à moteurs générateurs, on peut appeler *capacité permanente de surcharge*, celle qu'impose la bonne commutation des machines à courant continu, c'est-à-dire la position de leurs balais ; il est évident qu'elle s'élève beaucoup avec les commutatrices et que la capacité de celles-ci n'est plus limitée par la *commutation*, mais par l'*échauffement des collecteurs*. Les collecteurs des commutatrices ont d'ordinaire une vitesse périphérique très élevée : 1 000 tours par minute, par exemple, et c'est ce qui fait que la surcharge, pendant deux heures, ne peut guère dépasser 30 à 40 p. 100 sur ces machines, sans échauffer les collecteurs au delà des limites convenables. N'était cette sujétion et n'était la nécessité de *surexciter beaucoup les inducteurs*, la capacité de surcharge pourrait être élevée à 50 ou 60 p. 100 pendant 2 heures : elle serait alors déterminée par l'*échauffement permissible dans les bobines induites et les transformateurs réducteurs*. Ces conditions supposent que ces

derniers sont refroidis au moyen d'huile ou d'air, de manière à ne dépasser la température normale de 35° C. (chiffre admis en bonne pratique moderne).

Comme on l'a signalé ci-dessus, la capacité de surcharge permanente est moins importante, en pratique, car l'installation n'est pas soumise, en général, à une telle surcharge pour un temps aussi prolongé. Ce qui est le plus important, surtout dans les sous-stations alimentant un réseau de traction, c'est la *surcharge momentanée*, par suite de courts-circuits de courte durée.

A ce point de vue on peut établir une fois pour toutes que les trois modes de matériel considéré, peuvent donner satisfaction, et qu'aucun n'est nettement préférable aux autres à ce point de vue.

Les moteurs asynchrones, aussi bien que les moteurs synchrones et les commutatrices alimentés par une usine génératrice bien étudiée, peuvent généralement supporter une surcharge de 100 p. 100 pendant quelques secondes sans décrochage.

Telle est la limite de sécurité qu'on peut admettre en général pour de bonnes machines des 3 types : il est bien évident que le court-circuit, de quelque nature qu'il soit, provoque une surcharge momentanée, à laquelle il est impossible de remédier, et qu'on ne peut pas songer à régler, par exemple, l'excitation, pour résister à cette dernière.

En ce qui concerne le décrochage des machines synchrones, on peut faire observer que si le décrochage se produit pour un instant, la machine tend à obéir à un couple favorable à la remise en phase, mais qui n'agit qu'un temps très court, égal à 1/2 période.

Si le court-circuit momentané déclenche les disjoncteurs de l'usine génératrice, ou supprime pour une raison quelconque le courant alimentant les commutatrices, il est toujours indispensable d'arrêter les machines des sous-stations au lieu de refermer les disjoncteurs pendant que les commutatrices sont encore en mouvement. Même les moteurs d'induction seraient incapables dans ce cas de reprendre leur vitesse. Quant aux machines synchrones, elles donneraient un court-circuit pulsatoire du réseau, sur lequel elles fonctionneraient, tantôt comme moteur, tantôt comme génératrices, avant de reprendre graduellement leur vitesse. Les disjoncteurs fonctionneraient d'ailleurs à nouveau avant que les machines aient atteint leur vitesse, et, indépendamment même du réseau à courant alternatif, le réseau à courant continu donnerait lieu à de tels phénomènes qu'il serait impossible d'y maintenir les disjoncteurs.

Une des questions les plus importantes dans la construction et l'exploitation des sous-stations à moteurs synchrones, est celle de la *marche en parallèle*. Les groupes convertisseurs doivent, non seulement fonctionner en parallèle de groupe à groupe, mais il faut encore que la marche en parallèle soit bonne entre les sous-stations et entre celles-ci et l'usine génératrice.

Avec une sous-station de commutatrices, par exemple, si tous les détails de l'installation ne sont pas soignés, depuis les moteurs de l'usine génératrice, jusqu'aux commutatrices, la marche en parallèle ne pourra pas être satisfaisante ; elle donnera lieu à des mouvements pendulaires, c'est-à-dire qu'on pourra observer des variations de vitesse angulaire et des déplacements relatifs des machines suivant la loi pendulaire ; on pourra en observer les effets, soit au tachymètre, qui donnera la connaissance des variations de vitesse des machines, soit au voltmètre ou à l'ampèremètre au côté continu ou alternatif de celles-ci. Dès que ce phénomène a commencé à se produire, il continue et son amplitude augmente, à moins que les faibles oscillations initiales ne soient amorties, jusqu'à ce que l'induit de la machine ait perdu son synchronisme.

La bonne marche des machines synchrones dépend beaucoup des variations dans la

vitesse instantanée des moteurs de l'usine génératrice et des oscillations dues à leur régulateur, à tel point que si ces oscillations et ces variations dépassent certaines limites déterminées, le fonctionnement des sous-stations devient impossible : on le comprendra en considérant que toute variation dans la fréquence du courant d'alimentation pendant un tour de la machine à vapeur doit être compensée par l'effet d'inertie des machines des sous-stations, mais agit sur cette inertie de manière que si les induits s'accélèrent ou se retardent d'une certaine quantité, l'oscillation commence : il importe de bien comprendre qu'elle n'a pas sa cause dans les groupes transformateurs eux-mêmes, mais dans le fonctionnement des machines de l'usine génératrice.

Bien que les variations de vitesse des machines à vapeur soient la plupart du temps la cause initiale de ces mouvements pendulaires, elles ne sont pas toujours nécessaires, et les pulsations qui provoquent le phénomène peuvent tenir à toute autre cause. Un cas particulièrement intéressant est celui où les commutatrices donnent lieu au phénomène, lors même que l'usine est parfaitement établie. L'explication du fait est la suivante : supposons qu'il se produise entre les machines une légère oscillation due à une cause quelconque, qu'il est absolument impossible d'éviter même dans les usines les mieux établies, par exemple, un court-circuit, un réglage défectueux des balais d'une machine, une variation brusque et considérable de la charge, ou la défectuosité momentanée d'une des unités génératrices, etc.; cette faible oscillation est accompagnée d'un affaiblissement et d'une distorsion du flux inducteur de la commutatrice. Le seul fait qu'il existe une oscillation implique une distorsion du champ, pour un point déterminé de l'induit pendant l'oscillation, et cet induit est un peu en avance ou un peu en retard de la position idéale qui correspond au synchronisme exact à ce moment même. Cela veut dire que la machine agit soit comme génératrice, soit comme moteur empruntant aux lignes un courant en avance ou en retard, et déplaçant le flux inducteur vers l'une ou l'autre des cornes polaires des inducteurs. L'induit s'efforcera de se conformer à ce changement d'état des inducteurs, en absorbant des courants considérables, de sens opposés : mais ce changement de courant produit immédiatement une distorsion opposée au flux inducteur proportionnellement à son intensité, c'est-à-dire beaucoup plus grande, et provoquant l'oscillation de l'induit vers une nouvelle position. Ainsi les oscillations de cet induit s'accentuent, en même temps que la distorsion du champ, jusqu'à ce qu'en définitif le flux émanant des pôles est presque entièrement balayé du centre de ceux-ci vers les cornes polaires et vers l'espace interpolaire.

Pendant ces oscillations la commutatrice fonctionne alternativement comme génératrice ou comme moteur et communique des attractions ou des répulsions qui propagent les premiers mouvements pendulaires. L'effet des diverses machines entre elles est d'accroître l'oscillation initiale : s'il y a d'autres sous-stations en parallèle, elles peuvent elles-mêmes y participer, et l'effet combiné de toutes les sous-stations peut se répercuter sur les génératrices même de l'usine ; aussi est-il nécessaire de s'opposer à ces oscillations pendant qu'elles sont encore très faibles, pour les empêcher de se propager et d'affecter tout le réseau.

Souvent ces oscillations provoquent des étincelles et des arcs aux collecteurs des commutatrices : elles sont dues à la distorsion du champ qui s'oppose à la bonne commutation ; il faut réellement voir la cause initiale de ces perturbations dans la *distorsion du champ* et s'y opposer de toutes ses forces ou la réduire au minimum pour obtenir le bon fonctionnement des machines.

Il est facile d'observer que dans une commutatrice en oscillation il existe une très

grande perturbation dans les inducteurs, par exemple, une pièce de matière magnétique maintenue à la main entre deux pièces polaires subit une attraction variable. Il y a bien dans une machine fonctionnant d'une manière satisfaisante une certaine pulsation du champ, qui se traduit par une pulsation générale de tous les appareils, et qu'on peut apprécier notamment par la lecture de l'ampèremètre du circuit inducteur ; ces oscillations rapides et de faible amplitude permettent quelquefois de suivre les variations de vitesse de l'usine génératrice.

Il y a certaines conditions de marche qui tendent à provoquer ou à accentuer le phénomène ci-dessus ; parmi les causes qui tendent à le provoquer, signalons la différence de forme périodique de la force électromotrice des alternateurs et des commutatrices ; suffisante, dans beaucoup de cas, pour déterminer la production du phénomène, elle ne suffit cependant pas en général à créer de sérieuses difficultés. D'un autre côté les machines à grande réaction d'induit ou machines à faible excitation sont plus sujettes aux oscillations que les machines à champs puissants parce que le flux magnétique est plus sujet à la distorsion. C'est pour cette raison que la surexcitation des commutatrices est une condition favorable à leur bon fonctionnement. De plus le moment d'inertie des commutatrices doit être maintenu aussi faible que possible, car il favorise les oscillations et s'oppose à l'efficacité de tout dispositif auquel il serait fait appel pour amortir les oscillations dès leur début. Certains auteurs déclarent que l'*impédance des lignes* augmente les mouvements pendulaires dans les sous-stations, mais c'est un fait que l'auteur n'a jamais observé jusqu'à ce jour, et il considère, au contraire, qu'une self-induction modérée des lignes est très favorable au bon fonctionnement. Il semble que la capacité des lignes a une certaine influence. Cependant, en pratique, il est assez difficile de séparer les causes qui favorisent les mouvements pendulaires. La cause principale provient généralement des machines à vapeur, et, quand cette cause d'oscillation est écartée, les effets de distorsion du champ sont neutralisés et les difficultés disparaissent.

Les groupes moteurs-générateurs sont moins disposés aux oscillations (avec une génératrice et un réseau donnés) que les commutatrices. La cause en est dans leur réaction d'induit considérable, qui tend à amortir les pulsations du courant dans l'induit, pouvant résulter d'un commencement d'oscillation : c'est parce que les inducteurs sont alimentés à voltage constant et indépendant du voltage alternatif. Il est vrai qu'avec des moteurs primaires de mauvaise construction à l'usine, les moteurs synchrones peuvent donner lieu à des oscillations dangereuses, mais qui n'affectent pas pratiquement le voltage continu : point important à noter. Les pulsations caractéristiques du voltage du feeder se produisent évidemment au côté alternatif avec la même intensité que pour les commutatrices.

D'après ce qui précède on voit que, pour obtenir un fonctionnement entièrement satisfaisant des appareils synchrones, il faut veiller soigneusement aux deux points suivants :

1° Apporter un grand soin au choix et au fonctionnement des machines de l'usine génératrice et des sous-stations, et tout particulièrement de la première, afin que la cause initiale des oscillations soit aussi réduite que possible.

2° Recourir à des dispositifs qui s'opposent efficacement aux oscillations dès leur début, dispositifs amortisseurs, par exemple. Quand ces oscillations tiennent à des variations de la vitesse instantanée, il est évident qu'on peut les réduire considérablement par des moyens mécaniques, mais ceux-ci présentent plusieurs inconvénients, sans parler de leur prix élevé. D'autre part les oscillations sont intimement liées aux distorsions de champ qui les accompagnent, et c'est en s'opposant à ces distorsions de champ qu'on évite le mieux les oscillations. Il existe, heureusement, des moyens simples de supprimer la distorsion du flux inducteur : il suffit de munir le moteur synchrone de la commutatrice d'en-

roulements amortisseurs : c'est une des excellentes idées qui ont pris naissance en Europe et se sont développées ensuite aux États-Unis, où elles rendent de très grands services dans certains cas et ne manquent jamais leur but. Il suffit d'établir entre les cornes polaires de chaque machine des ponts constitués de métal bon conducteur. Les courants induits dans ces ponts par l'oscillation du flux dû aux courants induits en avance et en retard, ont pour effet d'amortir les oscillations qui leur ont donné naissance. Il faut observer aussi que, si l'induit de la commutatrice ou du moteur synchrone commence à osciller, ces oscillations sont accompagnées d'une distorsion de champ, mais le flux produit par les courants de Foucault s'oppose à la distorsion du champ : dès qu'elle commence à se produire il est bon d'observer que les enroulements amortisseurs produisent leur effet au point même où ils sont nécessaires, c'est-à-dire entre les cornes polaires; il est relativement peu utile de disposer les enroulements amortisseurs autour des pièces polaires, mais leur vrai place est entre les pôles.

Les dimensions des ponts reliant les pôles peuvent varier dans de grandes limites, sans donner lieu à un amortissement très variable. Les pertes qui en résultent avec les commutatrices varient de 0,5 à 1,5 p. 100 du débit de la machine selon les circonstances.

Quand la moindre cause initiale peut déterminer des oscillations dans la commutatrice, il est bon de munir la machine d'enroulements amortisseurs, quelle que soit la nature des moteurs à vapeur. Les groupes moteurs générateurs en seraient munis si les machines de l'usine génératrice étaient de trop mauvaise construction, ou si l'éclairage était fait par des lignes alimentant les moteurs.

Les usines hydrauliques rendent inutiles ces précautions. Si les moteurs sont à vapeur et très mauvais, il est bon d'en munir aussi les alternateurs ; le cas est semblable et le remède est, en effet, le même : c'est par une action analogue que ces ponts amortisseurs réduisent pratiquement à zéro les courants synchronisants échangés entre les génératrices.

Un des résultats d'oscillations observées dans les sous-stations est que le voltage des lignes à haute tension présente une nature pulsatoire. Les pulsations du courant nuisent beaucoup á l'éclairage : nous avons dit qu'on pouvait, dans ce cas, recourir aux enroulements amortisseurs. La maison Kolben de Prague, emploie un autre moyen, qui consiste à insérer dans les feeders à haute tension des sous-stations, des bobines d'inductance triphasées; chaque ligne porterait ainsi une bobine pouvant absorber 3 p. 100 de la puissance maxima de la machine alimentée par le feeder. Ainsi à Prague, pour une sous-station à deux groupes de 450 kilowatts et à 6 km de l'usine, on emploie une bobine de 35 kilowatts à entrefer réglable. La fluctuation du voltage dans les conditions minima, c'est-à-dire à vide, est insensible quand la bobine est en circuit, et s'élève à 3 p. 100 quand les bobines sont hors circuit. Quand les bobines sont en service sur les deux moteurs synchrones de 650 chevaux, la fluctuation de la charge s'élève à 5 à 10 p. 100 entre les moteurs, les courants synchronisants étant plus du double quand les bobines sont mises hors circuit.

Une autre sous-station, à 3,6 km de distance de l'usine générale, est composée de deux groupes moteurs générateurs de 180 kilowatts et comporte l'emploi de bobines analogues. Il n'y a aucun échange de courant entre les deux machines quand les bobines sont en circuit et la stabilité de marche est aussi absolue qu'avec des moteurs asynchrones : l'emploi de ces bobines rend donc de très grands services à Prague, où l'éclairage et les moteurs sont alimentés par le même réseau triphasé, les sous-stations à courant continu étant affectées aux tramways seuls.

Le voltage de la première sous-station (de 900 kilowatts) varie seulement entre 2 900 et 2 980 volts, et ne change pas avec la charge, les courants synchronisants étant indépendants

de celle-ci. Les excitations des moteurs sont à peine altérées, étant de 62 ampères à vide et de 65 à 70 en pleine charge.

Les machines à vapeur ont été l'objet des plus grands soins, et la variation de vitesse dans un tour ne dépasse pas 1/250 au total : elles sont du type horizontal à triple expansion à double manivelle, tournent à 90 tours par minute et donnent 1 000 chevaux, l'effet d'inertie $W \times D^2 = 1411$ tonnes-mètre.

L'emploi des bobines inductives dans les feeders des sous-stations est sujet à des objections puisqu'il augmente les pertes et la chute de tension, mais il est bien évident que ces pertes sont négligeables, et qu'elles sont en outre compensées par la suppression des pulsations. Les pertes à pleine charge dans les bobines ne dépassent pas 3 p. 100, et la chute inductive en service 4 p. 100. Avec les bobines de réactance de 25 kilowatts, la perte à pleine charge est seulement de 800 watts et la perte de tension de 60 volts, en supposant que les moteurs marchent à voltage minimum, et leur influence sur le rendement de l'installation est insignifiante.

Pour résumer les causes des oscillations, rappelons qu'elles peuvent être dues aux variations du couple moteur de la machine à vapeur, aux effets d'une mauvaise manœuvre de mise en parallèle, d'un court-circuit, etc. ; elles sont favorisées par la distorsion des champs, par l'insuffisance d'impédance de l'induit, par l'action rapide des régulateurs, par les volants lourds, évidemment aussi par les défauts de construction, tels que bielles trop courtes, mauvaise distribution de la vapeur, etc. Étant données des machines bien étudiées, on trouvera généralement que la difficulté, lorsqu'elle se présente, est due entièrement aux régulateurs et aux volants des moteurs ; on y remédie en ajustant les régulateurs de manière qu'ils soient insensibles aux régulations trop rapides de la vitesse.

La raison de leur travail défavorable est sans doute la suivante : les régulateurs extrêmement sensibles tendront à compenser les variations de vitesse momentanées qui sont inévitables, et qui viennent des impulsions de la vapeur ; puisque la vitesse croît pendant les impulsions, la fin d'admission se produit plus vite, tandis que, la vitesse décroissant entre les impulsions, la fin d'admission sera retardée. Mais le régulateur admet, par exemple, plus de vapeur qu'il ne faut pour élever la vitesse et accélérer la machine avec l'aide du moment du volant.

Il semble qu'il se produise une faible oscillation relative des inducteurs due à des causes inévitables, et la sensibilité des régulateurs des machines non seulement entretient l'oscillation, mais l'augmente en raison du retard d'action des régulateurs. Evidemment ces oscillations provoquent un déplacement de phase entre les ondes électromotrices, qui peuvent s'élever assez pour que le fonctionnement des machines soit instable. Dans ce cas les machines échangeront de grands courants synchronisants, et les oscillations réapparaîtront dans les sous-stations, comme il a été indiqué ci-dessus.

On trouve en pratique que les mouvements relatifs des génératrices peuvent être réduits pratiquement à zéro si les régulateurs sont réglés pour rester insensibles aux variations trop rapides de vitesse, ce qui s'obtient évidemment par le réglage de leur amortissement ; tout régulateur de machine doit être muni d'un dash-pot qui puisse soustraire la distribution à l'action du régulateur, toutes les fois que cette action ne se prolonge pas au delà de la limite. Evidemment il n'y a pas de plus mauvais dash-pot qu'un dash-pot à air, le dash-pot à graisse est préférable, mais si on employait une graisse trop consistante pour empêcher le régulateur d'obéir aux variations subites de vitesse, on pourrait peut-être le rendre insensible aux variations de vitesse de nature permanente, et il en résulterait des variations regrettables de fréquence.

Il semble donc qu'il y ait mieux à faire que le dash-pot ordinaire, pour répondre aux besoins des alternateurs en parallèle, commandés par machine à vapeur à faible vitesse.

L'adaptation de dash-pots spéciaux aux régulateurs des machines réduit les oscillations du rotor des génératrices à un facteur négligeable, en prévenant l'admission de vapeur pendant la période d'oscillation ; il peut cependant se produire un cas particulier dans lequel le remède ne s'applique pas, et dans ce cas le seul moyen de réduire l'amplitude des oscillations serait d'employer des enroulements amortisseurs dans les pôles inducteurs des génératrices. Les oscillations entraînant des différences de phase entre les forces électromotrices des diverses machines s'accompagnent d'une distorsion de champ analogue à celle que nous venons de décrire précédemment, à l'occasion du matériel de sous-stations, et les mêmes moyens sont employés pour amortir ces oscillations dès leur début sur les groupes électrogènes puissants à faible vitesse. Il est certain que ces amortisseurs rendent des services, on peut voir dans la figure 6 un des modes d'application sur lequel il est bon de se guider.

Pour éviter la courbure des arbres, il importe, avec les très grosses machines, de disposer les génératrices de manière à en éviter les conséquences. L'expérience de telles machines montre qu'il n'est pas aussi bon de monter les génératrices en dehors des machines, au point de vue de la marche en parallèle, que de les placer entre les manivelles, en adoptant au besoin la disposition des cylindres en tandem, pour permettre ce dispositif. Avec les irrégularités périodiques données, le meilleur décalage à donner aux manivelles est de 180°.

En ce qui concerne la régulation de vitesse entre le vide et la charge des machines commandant des alternateurs, il importe, pour une bonne répartition de la charge, que cette régulation ne soit pas trop parfaite : il suffit, en général, que la vitesse ne s'élève pas de plus de 2 p. 100 quand on réduit rapidement la charge de la moitié au vide. Il est évident que ce changement ne doit pas être accompagné de la plus petite oscillation et les régulateurs doivent régler parfaitement la marche des machines, quand ces dernières fonctionnent à vide avec la vanne d'admission ouverte.

L'irrégularité par tour a beaucoup d'importance, car elle détermine à un certain degré la quantité de métal à mettre dans le bâti inducteur de l'alternateur. La question se réduit alors à celle de la fréquence et, à une vitesse donnée, il faut des machines bien meilleures pour commander des alternateurs à haute fréquence qu'à basse fréquence ; ainsi qu'on le sait, pour un type donné de machine et pour une vitesse donnée, plus la fréquence est basse, meilleure est la marche en parallèle, parce qu'une faible fréquence implique un nombre moindre de pôles, et qu'à la même variation de vitesse dans le tour, correspond par conséquent un décalage plus petit entre les forces électromotrices et, par suite, moins de courants synchronisants et plus de stabilité.

L'irrégularité périodique permissible dépend donc du décalage permissible, qui dépend lui-même, jusqu'à un certain degré, de la nature du travail. Ainsi pour alimenter des commutatrices, service qui peut être considéré comme le plus défavorable, en pratique, le décalage ne doit en aucun cas dépasser 2°, c'est-à-dire qu'un point du volant ne doit pas différer de la position qu'aurait un volant à vitesse uniforme de plus de $\frac{2^\circ}{p}$, p étant le nombre de paire de pôles. Ainsi considérons le cas des inducteurs de 2 000 kilowatts à 25 périodes, tournant à 83 tours par minute, $p = 18$; donc l'irrégularité périodique permissible ne doit pas excéder $1/9^\circ$, c'est-à-dire qu'un point du volant de cette machine ne doit pas s'écarter de plus de $0^\circ{,}11$ des positions qu'il aurait à vitesse uniforme. Donc l'irrégularité totale ou

variation angulaire totale serait le double, ou 0°,22 ; si la fréquence était doublée et portée à 50 périodes, l'irrégularité totale pour le même décalage de la force électromotrice ne devrait pas dépasser 0°,11 et il faudrait donc un volant beaucoup plus considérable.

Evidemment, si les alternateurs ont une réaction d'induit plus élevée que la moyenne, le décalage permissible peut être plus élevé pour le même courant synchronisant. On doit toujours penser que des génératrices en parallèle, dont l'irrégularité cyclique ne dépasse pas une valeur donnée, peuvent différer entre elles du double, et c'est le total qui importe ; les courants synchronisants sont, en effet, proportionnels au sinus de cet angle de décalage : sinus 4° dans le cas ci-dessus.

D'après ce qui a été dit plus haut, la variation de vitesse angulaire pendant un tour doit être maintenue dans les limites permissibles avec le poids minimum de volant, c'est-à-dire que le résultat désiré doit s'obtenir plutôt par la bonne construction des machines que par l'emploi de très lourds volants ; si cette condition est remplie et si les dash-pots des régulateurs sont bien étudiés, si, enfin, la régulation du voltage des alternateurs n'est pas trop parfaite, on n'observera d'oscillation ni dans l'usine ni dans les sous-stations distantes.

Comparaison des différents types de convertisseurs. — Ce qui précède a donné une idée assez complète des avantages et inconvénients relatifs des divers appareils de sous-stations ; au point de vue de la simplicité et des facilités de fonctionnement les convertisseurs asynchrones sont supérieurs aux deux types de convertisseurs synchrones, mais cet avantage a pour contre-partie un plus faible rendement et un faible facteur de puissance, aussi ces machines sont-elles la plupart du temps réservées pour les installations (d'éclairage ou de tramways), où la quantité totale d'énergie à transmettre et à distribuer est relativement faible, et où les convertisseurs sont des unités ne dépassant pas 150 kilowatts.

D'autre part, les moteurs générateurs synchrones sont des machines idéales à beaucoup d'égards. Leurs facteurs de puissance sont élevés ; ils n'entraînent aucune complication de fonctionnement, donnent rarement lieu à des oscillations, pourvu que la machinerie soit bien étudiée ; de plus ces machines possèdent, en commun avec les machines asynchrones, des avantages très notables : la première est de fonctionner également bien avec les circuits de toute fréquence raisonnable (il n'existe aucune différence essentielle en effet, dans la marche des moteurs pour toute fréquence variant entre 25 et 50 périodes). Le second avantage estque la régulation de voltage au côté continu se fait facilement par les méthodes ordinaires, et que ce voltage est indépendant des variations du voltage alternatif, et n'est soumis qu'à la fréquence.

Les rendements des moteurs générateurs synchrones et asynchrones sont élevés ; le premier ayant l'avantage de 1 p. 100 environ ; le tableau de distribution est simple et peu coûteux, et a l'avantage surtout du moteur asynchrone, en raison de sa simplicité de mise en marche.

Les commutatrices sont, au point de vue du démarrage et du facteur de puissance, comparables aux moteurs synchrones, et présentent deux grands avantages sur les moteurs générateurs : une plus grande capacité de surcharge et un rendement supérieur de 4 à 5 p. 100 à toute charge ; mais elles sont plus sensibles pour la marche en parallèle ; et, quand le voltage alternatif varie elles affectent la bonne marche en parallèle et le voltage continu ; les dispositifs régulateurs et les tableaux sont plus compliqués, des transformateurs réducteurs sont indispensables.

Au point de vue de l'encombrement et du prix d'achat, il y a peu de différence à faire

entre les différents types ; au point de vue des machines seules, les commutatrices offrent évidemment un avantage considérable, mais les prix spéciaux, les appareils supplémentaires des tableaux, etc., en élèvent le prix jusqu'à celui d'un groupe moteur générateur.

Un tableau donné par M. Eborall présente d'une manière pratique le résumé de tous ces avantages ; il a été fait à l'aide d'exemples empruntés à la pratique, et les machines, qui sont toutes de même construction, sont entièrement comparables comme conditions de fonctionnement, vitesse, fréquence, voltage, etc. Le cas choisi pour illustrer ce qui a été dit est celui d'une usine d'énergie et d'éclairage, ce dernier étant dérivé sur le trajet des feeders des sous-stations et emprunté partiellement à ces sous-stations. Le cas est plutôt défavorable aux moteurs générateurs, parce qu'on les a supposés composés chacun d'un moteur commandant une génératrice à chaque bout d'arbre, ce qui en augmente l'encombrement et le prix.

On y peut constater qu'avec les machines plus puissantes, les seuls avantages substantiels d'une commutatrice par rapport au moteur synchrone, sont ceux d'un plus grand rendement et d'une plus grande capacité de surcharge.

Ces avantages sont évidemment très importants mais, dans beaucoup de cas, les grandes facilités de réglage et la meilleure marche en parallèle offrent une compensation suffisante en faveur des moteurs générateurs.

Avant de conclure il convient de dire quelques mots de la marche des commutatrices de grande puissance et de fréquences différentes. Il n'est pas exagéré de dire que la limite de fonctionnement satisfaisante est d'environ 40 périodes ; au-dessus de cette fréquence la commutatrice peut toujours être remplacée avantageusement par les moteurs générateurs, quelle que soit la nature du travail.

Deux difficultés y obligent : la bonne marche en parallèle qui devient extrêmement difficile dans la commutatrice. Ainsi qu'on l'a indiqué déjà pour les génératrices, une fréquence réduite favorise la marche en parallèle, pour une régularité donnée. Le même argument s'applique au cas de la commutatrice, car, pour mettre le moteur à fréquence plus élevée sur une même base de comparaison que la machine plus faible, il serait nécessaire d'avoir le même nombre de pôles dans chaque machine, ce qui ferait que la vitesse de la machine à 50 périodes serait double de celle de 25. Il est évident que les considérations mécaniques s'y opposent, surtout au point de vue de la commutation. Si, d'autre part, la vitesse périphérique du collecteur de continu est très grande, il devient très difficile d'employer des balais de charbon ; ajoutons que les segments doivent, pour un voltage donné, être en nombre donné et qu'ils deviendront trop minces si le voltage de la commutatrice est inférieur à une certaine limite. Plus on élève le voltage et plus les difficultés augmentent ; il en résulte donc qu'avec une fréquence élevée il faut augmenter le nombre de pôles de la commutatrice ; le diamètre de l'induit (par suite son moment) augmente, et par conséquent la réaction d'induit de la machine, afin d'obtenir une répartition convenable du courant dans les divers circuits de l'induit. Toutes ces sujétions sont en défaveur de la commutatrice à haute fréquence : pôles serrés, grande vitesse périphérique, grande réaction d'induit, segments collecteurs minces, voltage élevé de segment à segment, courte distance entre porte-balais, etc. C'est pour ces raisons que la fréquence 25 a eu tant de succès pour les commutatrices ; entre 30 ou 40 périodes leur fonctionnement peut encore être bon dans des conditions favorables (c'est-à-dire avec de meilleures machines à vapeur des vitesses plus élevées et de bas voltages) ; mais au-dessus de 40 périodes il convient de renoncer complètement à l'emploi des commutatrices de grande puissance.

Si cette fréquence de 25 périodes convient à la sous-station, il n'en est pas de même de

l'emploi de courant alternatif qu'on en pourrait faire. Les génératrices, les moteurs, les transformateurs deviennent plus chers et l'éclairage impossible, mais d'autre part la marche en parallèle est meilleure, et les effets inductifs dans la génératrice, la ligne, les transformateurs et les moteurs, s'abaissent considérablement, ce qui améliore la régulation dans tout le réseau. C'est en tenant compte de toutes ces considérations que la pratique moderne a admis dans ce nombre de cas des fréquences de 40 à 50 périodes; souvent, au contraire, on s'en est écarté pour adopter des commutatrices.

Conclusions. — Etant donné qu'on veut convertir des courants polyphasés en courant continu, au moyen de sous-stations de transformateurs, il est possible de tirer des considérations qui précèdent les conclusions suivantes :

1. Si l'installation doit servir au transport d'énergie et si l'éclairage y est en proportion insensible, le mieux est d'employer des sous-stations de commutatrices à 25 ou 30 périodes.

2. Pour un service d'éclairage, l'emploi de moteurs à 50 périodes est, au contraire, préférable : il en est de même quand l'éclairage sans être seul, constitue la partie la plus importante du service.

3. Pour choisir entre les deux types de moteurs générateurs, on doit considérer que les moteurs asynchrones conviennent peu aux installations de grande importance.

La multiplicité des cas empêche de donner une conclusion qui soit d'application générale. L'auteur considère que dans beaucoup de cas on peut se dispenser des sous-stations à courant continu et utiliser directement le courant alternatif.

P. Le.....

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

ÉCLAIRAGE

La force électromotrice antagoniste des arcs voltaïques, par **W. Mitkiewicz**, *Journ. Soc. Phys.-Chim. russe*, t. XXXIV, 5 b. p. 223-229, 1902.

Après avoir émis l'opinion que les nombreuses tentatives faites jusqu'à ce jour en vue de montrer l'existence d'une force électromotrice antagoniste n'ont pas donné de résultats sûrs, l'auteur étudie plus spécialement les phénomènes qui se présentent immédiatement après que le circuit a été interrompu. Dans les expériences de Blondel, le courant alimentant l'arc était périodiquement interrompu au moyen d'un commutateur tournant spécial. Le courant principal étant interrompu, ce commutateur mettait immédiatement le circuit d'un galvanomètre en relation avec les électrodes de l'arc ; le temps séparant la rupture du circuit principal de la fermeture du circuit galvanométrique étant d'environ 1/600 sec. Comme Blondel n'observait aucune force électromotrice antagoniste, l'auteur recherche ce qui se passe dans l'intervalle de 1/600 sec. qui s'écoule entre la fermeture du circuit et le moment d'observation, en étudiant la courbe des différences de potentiel entre les électrodes d'un arc alimenté par un courant intermittent d'un sens constant. Cette courbe est tout à fait analogue à celle qui représente la force électromotrice aux bornes d'une résistance non-inductive insérée dans le circuit. Comme toutefois il est impossible d'obtenir une rupture absolument instantanée (l'intervalle est de l'ordre de 0,0001 sec.), l'auteur est d'avis que ses résultats négatifs ne démontrent point l'absence d'une force électromotrice antagoniste. D'accord avec les vues de M. Duddell, il suggère au contraire l'hypothèse que cette force serait la différence de deux forces électromotrices thermiques produites au contact du milieu gazeux incandescent

avec les bouts des électrodes, la force électromotrice plus élevée correspondant à l'électrode plus chaude. Il croit plausible que cette faible différence de température est compensée en un intervalle inférieur à 0,0001 sec., de manière que la force électromotrice du couple thermo-électrique *charbon-gaz-charbon* tomberait à zéro.

A. Gradenwitz.

Emploi des substances fluorescentes pour montrer les variations de l'arc alternatif, par **Charles Margot**. *La Machine*, t. V, p. 15. 25 janvier 1903.

On sait que l'arc électrique produit par le courant alternatif donne une lumière parfaitement fixe en apparence, bien que le courant change de direction et s'annule un grand nombre de fois par seconde. L'éclat provient, non de l'arc, qui est très peu lumineux, mais des pointes de charbon portées à une température extrêmement élevée, celle de l'ébullition du carbone, que l'on évalue être de 3 000 degrés environ.

Bien que la durée de chaque extinction de l'arc soit très minime, il en résulte néanmoins, par suite du rayonnement énorme de chaleur aux températures élevées, une variation perceptible d'éclat des charbons, qu'il est possible de mettre en évidence par différents artifices bien connus des électriciens. Cette variation, l'œil ne peut la percevoir directement, par suite de la persistance des impressions lumineuses, mais si l'on imprime un mouvement de va-et-vient à un objet poli, tel qu'une tige d'acier, on voit la ligne brillante de réflexion de la lumière se transformer en un éventail de traits clairs séparés par des espaces sombres. Les traits clairs correspondent aux maxima d'éclat des charbons, les sombres au minimum. — On peut donner à cette expérience une forme remarquable en remplaçant le simple objet éclairé par une substance fluorescente, du verre d'urane par exemple, ou mieux et plus aisément par un tube de verre de un centimètre de diamètre sur trente de longueur environ que l'on remplit d'une solution fluorescente d'esculine ou d'uranine. Si l'on promène ce petit appareil dans le rayon de lumière d'une lampe à projection, la solution s'illumine très vivement lorsque l'éclat de l'arc est maximum ; on obtient ainsi un éventail où les espaces clairs sont beaucoup mieux marqués que par la simple réflexion de la lumière sur un corps quelconque. L'effet est des plus élégants si l'on a recours à un appareil de rotation où l'on fixe un ou plusieurs tubes fluorescents de teintes variées. On obtient de la sorte, par le mouvement circulaire, des effets analogues à ceux que donnent certains tubes de Geissler que l'on fait tourner, c'est-à-dire une sorte de roue dont les rayons de couleurs diverses subissent de continuelles modifications, s'élargissent ou se retrécissent, se déplacent dans un sens ou dans l'autre, ou semblent rester fixes dans l'espace, si la vitesse est synchrone à la périodicité du courant ou à un multiple de cette périodicité. — La luminosité des substances fluorescentes est particulièrement excitée par les radiations très réfrangibles émises par l'arc, plus encore que par l'éclairement direct des pointes de charbon. Il est facile de s'en convaincre en faisant varier la grandeur de l'arc dans des limites étendues ; en partant d'abord du contact des charbons, il y a simple incandescence, aussi le phénomène de fluorescence se manifeste-t-il d'une façon peu sensible, mais à mesure que l'on augmente la longueur de l'arc, la fluorescence s'accentue, c'est-à-dire que la différence de luminosité entre les espaces clairs et les plages sombres augmente. Lorsque l'arc atteint deux ou trois centimètres, le phénomène acquiert une grande intensité et peut être rendu visible à un nombreux auditoire. Pour bien réussir cette expérience, il faut brancher la lampe à arc sur un réseau de 120 volts, car la tension de 50 volts seulement utilisée pour l'alimentation des arcs dans l'éclairage ordinaire des rues et places publiques, est insuffisante pour maintenir un arc au delà de certaines limites assez étroites ; néanmoins cette petite expérience de démonstration peut se faire dans ces conditions, mais elle est moins brillante.

ÉLECTROCHIMIE

Caractères physiques des dépôts métalliques, par **C.-F. Burgers** et **C. Hambuechen**. *Electrochem. Ind.*, t. I, n° 6, p. 204-208, 1903.

L'électro-déposition est le passage, sous l'action du courant électrique, d'un métal de l'état de dissolution à l'état solide ; aussi ce métal subit-il des modifications profondes quant à ses conditions physiques. Il s'établit entre le métal et l'électrode une force d'adhésion plus ou moins intense et le dépôt prend, suivant les conditions du procédé, une structure cristalline ou amorphe, bien que dans ce dernier cas le

microscope révèle toujours la présence de minuscules cristaux ; dans certaines conditions, on obtiendra même des dépôts spongieux ou gélatineux. Aussi la connaissance des conditions favorables à l'une ou l'autre de ces structures est-elle d'une grande importance pour la pratique galvanoplastique, où il importe, le plus souvent, d'obtenir un dépôt bien solide d'un aspect aussi uni que possible.

On sait que bien des fois l'addition d'une substance étrangère, même en proportion minime, a pour effet d'améliorer notablement la qualité du dépôt ; l'auteur pense que dans ces cas ces changements sont dus en partie aux modifications que subissent la tension superficielle et la viscosité du liquide.

Lorsque le dépôt est destiné à protéger l'objet galvanisé où à en former l'ornementation, il faudra surtout avoir soin que la surface de l'objet formant électrode soit bien propre, pour que l'adhésion entre les particules du dépôt et entre ce dernier et la surface métallique soit aussi parfaite que possible. Le fait affirmé par beaucoup d'expérimentateurs qu'un véritable alliage se formerait entre les deux métaux ne paraît pas s'appliquer à tous les cas où une bonne adhérence s'établit.

L'auteur attribue un rôle bien plus considérable à la cohésion purement physique entre les différentes particules. Aussi il conseille de faire en sorte que les surfaces de contact soient aussi grandes que possible ; on sait en effet que les surfaces rugueuses prennent un dépôt bien plus fixe que les surfaces lisses, exemptes de fissures. Il importe, d'autre part, de choisir des électrolytes qui « mouillent » bien le métal à enduire ; cette propriété est quelquefois obtenue au moyen de l'addition d'une trace d'alcool.

L'inconvénient présenté par la plupart des dépôts métalliques de se fendiller et de se détacher graduellement, peut être prévenu en agitant bien l'électrolyte. Quelquefois encore on observe des perforations dues à la présence de petites bulles de gaz détachées dans le processus ; on y remédie également en agitant l'électrolyte ou en le choisiseant tel qu'il n'y ait pas de développement de gaz.

On connaît enfin les distorsions présentées par certains dépôts, ceux de nickel par exemple, distorsions dues aux tensions internes.

A. Gradenwitz.

Historique et état actuel de l'affinage électrolytique du nickel, par **T. Ulke**. *Electrochem. Industry*, t. I, n° 6, p. 208-212, 1903.

Voici les conclusions que l'auteur tire d'une étude historique des procédés électrolytiques préconisés pour l'affinage électrolytique du nickel :

Les procédés pour l'électro-déposition du nickel utilisant des anodes insolubles n'ont pas fait de progrès bien sérieux. Lorsque ce métal est préparé sur une vaste échelle au moyen d'anodes solubles, l'électrolyte doit être constamment maintenu à un degré de saturation déterminé au préalable et au point neutre, condition dont dépendent essentiellement la nature du dépôt et le succès commercial du procédé. Dans le cas au contraire où des anodes insolubles sont employées pour affiner le nickel, un équivalent d'acide libre par équivalent de métal déposé reste dans l'électrolyte ; aussi le dépôt de nickel en est altéré, les conditions chimiques et électriques du bain se trouvent changées, il y a polarisation et la résistance de l'électrolyte augmente. C'est dire que le potentiel et l'énergie que demande ce procédé doivent être accrus en conséquence, ce qui rend cet affinage par anodes insolubles si peu économique, en comparaison des procédés utilisant des électrodes solubles, que son emploi industriel devient presque impossible. Aussi les électrochimistes américains, au lieu de préparer du nickel métallique pur par électro-déposition, ont-ils préféré convertir les solutions de nickel en sulfates, bisulfates ou chlorures, produits qui, jusqu'ici ont eu une vente excellente, mais qui commencent à encombrer le marché, comme cela a été le cas du sulfate de cuivre avant l'adoption de méthodes électrolytiques d'affinage.

A. Gradenwitz.

Destruction spontanée de l'ozone, par **E. Warburg**. *Drude's Annalen*, t. IX, p. 1286-1303, décembre 1902.

Les expériences ont été effectuées avec l'ozonomètre différentiel de von Babo. L'ozone était préparé dans un appareil où il ne se trouvait en contact que des parois de verre et de l'acide sulfurique du tube manométrique. — La vitesse de destruction de l'ozone ne dépend pas de la nature de la substance qui a servi à dessécher l'oxygène.

Dans certains appareils, cette vitesse de désozonisation à la température ordinaire est beaucoup plus grande que dans certains autres, sans qu'on puisse indiquer la cause précise. Pour les recherches faites aux températures élevées, on emploie seulement les appareils dans lesquels la vitesse de désozonisation est très faible. — La vitesse de destruction de l'ozone par les causes extérieures croît beaucoup plus lentement avec la température, que la vitesse de destruction spontanée. L'ozone humide n'est pas plus stable que l'ozone sec, contrairement à ce qu'avait avancé Shenstone. M. L.

MESURES

Galvanomètre à circuit électrolytique, par **Richard Heilbrun**. *Zeitschrift f. Elektrochemie*, t. IX, p. 3, 5 février 1903.

La démonstration du passage d'un courant à l'intérieur d'un élément n'est pas faite directement en général. Le courant traversant un électrolyte agit sur l'aiguille aimantée de la même façon que lorsqu'il traverse un conducteur métallique ; ce fait peut être mis en évidence en répétant l'expérience d'Oersted après remplacement du fil de cuivre par un tube de verre rempli de sulfate de cuivre.

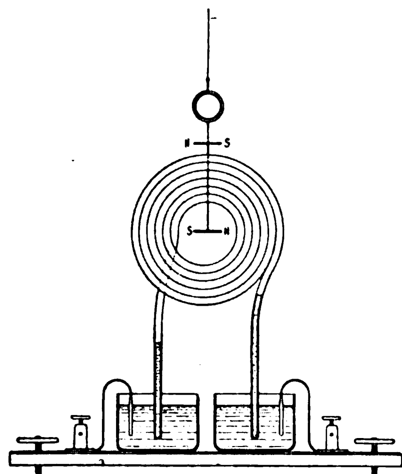


Fig. 1.

L'auteur a augmenté la sensibilité en construisant comme l'indiquent les figures 1 et 2 un véritable galvanomètre électrolytique. La bobine est constituée par un tube de verre ou de caoutchouc ou de toute autre substance isolante qui peut être remplie de liquide. Une aiguille aimantée se meut au milieu de cette bobine ; cette aiguille fait partie d'un système astatique et sur le fil de suspension est fixé un miroir. Avec un tube de caoutchouc, la construction est excessivement facile : on entoure un tube très sain et pas très épais autour d'une forme en bois et après enroulement de 7 spires ou plus, on maintient le tout à l'aide d'un revêtement en plâtre. Le système magnétique peut être soumis à l'action de deux ou de plusieurs bobines placées parallèlement (fig. 2). Les extrémités des bobines plongent dans des vases en verre.

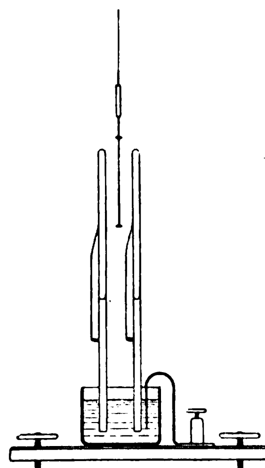


Fig. 2.

L'électrolyte employé est de l'acide sulfurique à 30 p. 100. Le remplissage du tube doit être effectué avec soin afin de ne pas laisser de bulles d'air à l'intérieur. On s'assure d'ailleurs qu'il en est bien ainsi en mesurant la résistance et en comparant à la valeur calculée d'après la longueur et la section du tube. Des bobines de 5 spires d'un tube de verre de 2,5 mm de diamètre intérieur avaient une résistance de 4 000 ohms ; d'autres, en caoutchouc de 4 mm de diamètre et comportant 7 spires avaient 1 000 ohms.

Pour la mesure de la résistance, un fil de platine ou de cuivre élargi par aplatissement amène le courant.

Indépendamment des extrémités des bobines plongent dans les vases deux tubes de verre ou de caoutchouc plus épais et dont les autres extrémités sont placées dans l'élément dont on veut montrer le passage du courant intérieur.

Ces tubes sont remplis d'acide sulfurique et, pour qu'ils n'agissent pas comme siphons, on maintient au même niveau les liquides de l'élément et des cuves de verre (voir fig. 3). Lorsqu'on ferme le circuit de l'élément, on obtient une déviation de l'image sur l'échelle du galvanomètre électrolytique et des ions prennent le chemin de la bobine du galvanomètre.

Si au lieu d'employer l'élément zinc — acide sulfurique étendu — cuivre, on fait usage d'un élément à deux liquides, on doit remplir les tubes reliant an galvanomètre de chacun des

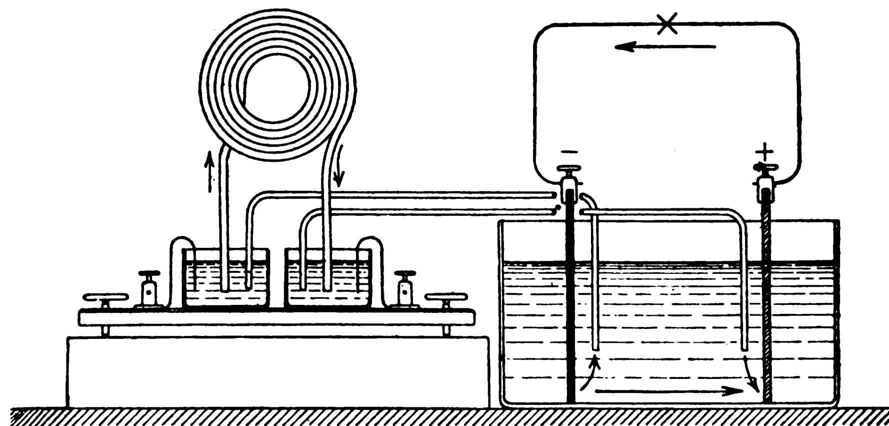


Fig. 3.

deux liquides, et pour éviter le mélange des liquides on peut même disposer de petits vases poreux dans les cuves du galvanomètre.

Le galvanomètre électrolytique peut servir

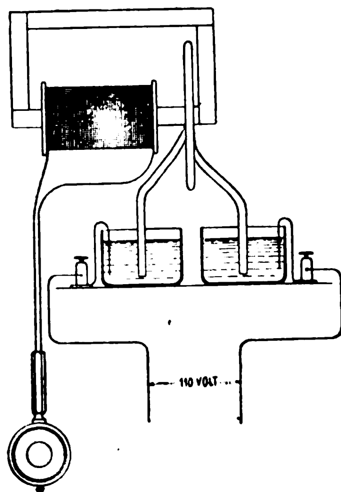


Fig. 4.

d'appareil de démonstration pour de nombreux faits d'électrolyse. Les phénomènes d'induction se produisent également avec l'enroulement-électrolyte. La figure 4 montre la disposition très simple de la démonstration. Un noyau de fer passe au milieu de l'enroulement électrolyte relié à une source de courant alternatif à 110 volts et au milieu d'une bobine à fil conducteur dont les extrémités sont reliées à un téléphone.

Une question très intéressante au point de vue théorique pourrait être examinée à l'aide de la bobine-électrolyte : rechercher si une réaction magnétique a lieu sur les ions cheminant séparément, et si ceux-ci sont déviés de leur trajectoire normale de migration. Il doit en être ainsi d'après la théorie d'Arrhénius qui suppose les ions absolument libres et transportant les charges électriques indépendamment les uns des autres. Des mesures précises avec des champs intenses permettraient cette vérification. L. J.

DIVERS

Emploi des condensateurs à lame d'aluminium pour produire les arcs « chantants », par **W. Mitkiewicz,** *Journ. Soc. Phys.-Chim. russe*, XXXIV n° 56, p. 229-233, 1902.

L'auteur propose de remplacer les condensateurs ordinaires à grande capacité nécessaires pour produire les arcs « chantants » de Duddell, par le condensateur à lame d'aluminium bien moins coûteux, composé d'une électrode d'aluminium reliée au pôle positif, plongée dans une

solution de bicarbonate de sodium à 7-8 p. 100 et qui, par là, se recouvre d'une mince couche d'oxyde ou d'hydroxyde. Deux plaques de tôle de mêmes dimensions sont appliquées sur les faces de ce condensateur, dont elles sont séparées par une plaque mince en caoutchouc, de façon que la distance entre l'aluminium et chacune des plaques en tôle n'excède pas 3 mm. Ce système, muni d'anneaux en caoutchouc, est ensuite placé dans le vase contenant la solution. Il va sans dire que les plaques en tôle sont reliées l'une à l'autre par un fil métallique. La capacité d'un condensateur pareil, avec une section utile d'environ 5 dm^2, était de l'ordre de 100 microfarads. Cette capacité élevée est due à l'extrême finesse de la couche isolante. Afin de produire avec cet appareil le phénomène connu sous le nom d'arc chantant, l'auteur se sert de la disposition indiquée par M. Duddell. Après chaque expérience il faut retirer les électrodes de la solution et les sécher avec soin. Ce condensateur s'emploie également avec avantage dans beaucoup d'autres expériences par exemple pour les dispositifs d'arcs « parlants ». L'auteur donne la description de l'appareil nécessaire à cette fin. A. Gradenwitz.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 9 mars 1903.

Procédé de radioscopie stéréoscopique, par **Th. Guilloz**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 611-614.

L'auteur a été conduit à réaliser cette méthode par l'expérience suivante :

Devant un stéréoscope ordinaire, on fait tourner un disque rotatif présentant deux secteurs vides passant alternativement devant les verres du stéréoscope, de telle sorte que la vision ne puisse jamais se faire au même moment que par un seul œil. La sensation parfaite de relief est obtenue avec une vitesse de rotation du disque qui, suivant les observateurs et les conditions de l'observation, ne dépasse pas cinq tours à la seconde, est en moyenne de trois par seconde et peut même être abaissée à un tour par seconde. Il y a, dans ces conditions, une persistance cérébrale suffisante de l'impression des images rétiniennes des deux yeux, pour donner le relief stéréoscopique. Cette sensation de relief est aussi parfaite avec ces images successives que si les deux yeux voyaient simultanément d'une manière continue. Au lieu de regarder dans un stéréoscope, on peut examiner ainsi un objet réel.

Il n'y a pas, dans cette expérience, de papillottement gênant, pourvu que l'éclipse totale qui se produit pour les deux yeux entre le moment où l'un cesse de voir et où l'autre est démasqué ne soit pas de longue durée. Un observateur, dont les yeux restent immobiles pendant l'éclipse et qui peut localiser les objets dans l'espace en visant avec les deux yeux, abaisse facilement la vitesse de rotation à un tour par seconde.

Dans le cas, plus fréquent, où l'observateur a continué de viser avec un œil, il voit, avec les faibles vitesses de rotation, des déplacements parallactiques des diverses régions de l'objet considéré en profondeur. C'est alors qu'il faut une vitesse de trois à cinq tours par seconde *au maximum* pour faire disparaître tout mouvement dans l'objet et le voir comme dans la contemplation directe.

Cette expérience montre donc que, pour tous les yeux, la radioscopie stéréoscopique devient *pratiquement réalisable* en déplaçant le tube producteur des rayons X, au lieu d'utiliser deux sources des rayons X. Une grande difficulté se trouve ainsi supprimée dans l'application de la méthode d'examen. Quand on opère avec deux tubes, ou avec un tube à double anticathode, il est toujours difficile de les régler à égale émission et leur inégalité prédispose aux illusions de relief [1]. L'emploi que M. Guilloz a précédemment indiqué [2], d'un tube symétrique, donne des images moins nettes que les tubes focus, et ne permet pas d'obtenir un

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 158, 26 avril 1902.

[2] *Écl. Élect.*, t. XXXI, p. 159, 26 avril 1902.

fonctionnement bien régulier en variant la dureté des rayons suivant toutes les exigences de l'examen radioscopique.

Dans le dispositif auquel s'est arrêté l'auteur, l'ampoule productrice des rayons X est montée sur un support mobile autour d'un axe qui en occupe l'extrémité. Entre cet axe et la partie terminale portant une boîte isolante dans laquelle est assujettie l'ampoule à rayons X, se trouve un galet qui se déplace dans une gorge fraisée sur la surface d'une poulie. La gorge est formée de deux sillons parallèles, occupant chacun respectivement environ une demi-circonférence de la poulie. Leurs plans parallèles sont distants de 1 cm et ils sont raccordés par un chemin sans courbure brusque. La longueur de ces raccords n'occupe qu'environ le dixième de la circonférence de la poulie. Lors de la rotation de la poulie, le tube est déplacé alternativement à gauche et à droite, et la grandeur du déplacement dépend de la longueur donnée au support. Le dixième du temps de rotation est employé à ce déplacement et le tube occupe pendant 0,45 de la rotation la position gauche et, pendant le même temps, la position droite.

Les tubes employés résistent bien à ces brusques déplacements, et la disposition mécanique adoptée amortit les oscillations quand le tube arrive aux positions extrêmes. L'observateur place devant ses yeux un appareil à éclipse formé simplement de petits volets qui s'ouvrent respectivement par le jeu d'électro-aimants quand le tube occupe l'une de ces positions. Les deux yeux sont masqués quand le tube se déplace ou inversement, et il n'y en a qu'un de démasqué quand le tube est à gauche, l'autre se démasquant quand le tube est à droite. Si le déplacement est symétrique, par rapport à l'écran de la position des yeux et si l'œil gauche est démasqué quand le tube est à gauche (expérience montée en parallèle), la vision stéréoscopique des ombres radioscopiques d'un objet AB donne la sensation d'un objet virtuel A'B', symétrique de AB par rapport à l'écran et sur lequel on pourra effectuer, comme à la chambre claire, toutes les mensurations voulues en y portant une graduation.

Si le déplacement du tube n'est pas égal à la distance des yeux, si ceux-ci ne sont pas symétriques des positions du tube, par rapport à l'écran, on observe une image qui est celle du symétrique de l'objet plus ou moins déformé. Lorsque l'expérience est montée croisée (œil gauche démasqué pendant que le tube est à droite), on voit, localisée derrière l'écran, une image plus ou moins déformée de l'objet. Dans ces diverses circonstances d'observation, on ne peut faire de mensurations, mais le relief stéréoscopique est encore utile pour se rendre compte des rapports réciproques et peut permettre d'effectuer ou de vérifier, par exemple, une coaptation de fragments osseux.

Séance du 16 mars.

Effets de la température sur les phénomènes électrocapillaires, par **Gouy**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 653-655.

Dans ses expériences antérieures, la température de 18° avait toujours été réalisée pour la pointe de l'électromètre capillaire. M. Gouy a fait récemment quelques mesures à des températures différentes, de 12° à 52°. La colonne mercurielle de l'électromètre était à la température ambiante, et ramenée par une petite correction à la température de 18°.

D'une manière générale, les variations de température ne changent pas notablement les courbes électrocapillaires, mais leur impriment pourtant des modifications appréciables.

Le tableau qui suit donne le maximum H_1 mesuré à 12°, le maximum H_2 mesuré à 52°, la différence $H_2 - H_1$, et l'accroissement δH calculé d'après cela pour une élévation de température de 1°. Le maximum à 18° avec l'eau pure est pris égal à 1 000 mm [1].

On voit que, pour l'eau et les corps peu actifs, le maximum diminue quand la température s'élève, et d'une quantité sensiblement la même. Les sels qui relèvent beaucoup le maximum donnent une diminution un peu moindre, mais la différence est peu sensible.

Les corps actifs donnent des diminutions bien moindres, qui même, pour les composés organiques très actifs, se changent en augmentations. Ainsi *la dépression du maximum, comparé à celui de l'eau pure à la même température, décroît quand la température s'élève*, et d'autant plus en général que le corps est plus actif.

---

[1] M désigne une molécule-gramme par litre de la solution aqueuse.

	H_1.	H_2.	$H_2 - H_1$	δH.
Eau pure	1002,1	986,7	—15,4	—0,39
Sulfate de sodium $\left(\frac{M}{200}\right)$	1002,3	986,6	—15,7	—0,39
Sulfate de sodium $\left(\frac{M}{2}\right)$	1003,8	987,9	—15,9	—0,40
Acide sulfurique $\left(\frac{M}{2}\right)$	1000,8	985,4	—15,4	—0,39
Carbonate de potassium (4,3 M)	1025,7	1010,8	—14,9	—0,37
Phosphate diammonique $\left(\frac{M}{3}\right)$	1002,7	987,2	—15,5	—0,39
Phosphate dipotassique (5,8 M)	1039,0	1024,9	—14,1	—0,35
Azotate de potassium (1 M)	991,1	979,3	—11,8	—0,30
Azotite de sodium (1 M)	995,6	983,3	—12,3	—0,31
Acétate de sodium (1 M)	998,2	983,4	—14,8	—0,37
Acide chlorhydrique (1 M)	992,7	979,7	—13,0	—0,33
Bromure de potassium (1 M)	979,0	967,3	—11,7	—0,29
Iodure de potassium $\left(\frac{M}{100}\right)$	992,2	979,7	—12,5	—0,31
Id. (1 M)	939,8	932,7	— 7,1	—0,18
Sulfocyanate de sodium (10 M)	913,2	905,8	— 7,4	—0,19
Platinocyanure de potassium $\left(\frac{M}{200}\right)$	987,0	979,1	— 7,9	—0,20
Saccharose $\left(\frac{M}{10}\right)$ avec Na^2SO^4 $\left(\frac{M}{200}\right)$	972,1	964,5	— 7,6	—0,19
Résorcine $\left(\frac{M}{10}\right)$ id.	934,1	937,2	+ 3,1	+0,08
Caféine $\left(\frac{M}{100}\right)$ id.	923,8	928,0	+ 4,2	+0,11
Amygdaline $\left(\frac{M}{100}\right)$ id.	931,9	933,1	+ 1,2	+0,03

Les hauteurs inscrites plus haut sont à très peu près proportionnelles à la tension superficielle de la surface mercurielle, car la dilatation de la pointe capillaire est négligeable. Pour en tenir compte, il faudrait ajouter 0,3 aux valeurs de H_2.

Propagation dans les milieux conducteurs, par **Marcel Brillouin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 667-669.

« I. L'équation de propagation des forces électriques ou magnétiques dans un milieu conducteur homogène est, comme on sait,

$$\Delta\Phi = \frac{\partial^2\Phi}{\partial t^2} + 2\frac{\partial\Phi}{\partial t}, \qquad (1)$$

en prenant pour variable t le temps multiplié par $\frac{2\pi k\Omega^2}{K}$ et pour x, y, z les longueurs multipliées par $\Omega\sqrt{K\mu}$ (Ω, vitesse de la lumière ; K, constante diélectrique ; μ, perméabilité magnétique ; k, conductivité).

» Posons

$$r^2 = (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2,$$
$$\theta^2 = (t - t_1 - \tau)^2 - r^2, \qquad \theta_1^2 = (t - t_1)^2 - r^2.$$

» On obtient facilement, en partant de résultats connus, l'intégrale de l'équation (1) pour une source ponctuelle de durée finie placée en x_0, y_0, z_0,

$$\Phi = \varepsilon^{-t}\Psi = \varepsilon^{-t}\left\{\begin{array}{l} \dfrac{f(t-t_1-r)+f(t-t_1+r)}{r} \\ +\displaystyle\int_{-\infty}^{t-t_1-r} f(\tau)\,I'_0\,\frac{d\tau}{\theta} \\ +\displaystyle\int_{t-t_1+r}^{\infty} f(\tau)\,I'_0\,\frac{d\tau}{\theta}, \end{array}\right. \qquad (2)$$

où I_0 désigne la fonction de Bessel $J_0(\theta i)$;

$$I'_0 = \frac{\partial I_0}{\partial\theta} = \frac{\partial}{\partial\theta}\left[1 + \frac{\theta^2}{(2)^2} + \frac{\theta^4}{(2)^2(4)^2} + \dots\right].$$

» Lorsque la source est de très courte durée τ_1,

et telle que $\int_0^{\tau_1} f(\tau)\, d\tau$, étendue à la durée entière τ_1 soit égale à 1 (1), on montre facilement que Φ est nul dans l'intervalle de $t - t_1 - r + \tau_1$ à $t - t_1 + r - \tau_1$; que Φ tend vers $\varepsilon^{-t} \frac{1}{\theta_1} \frac{\partial I_0}{\partial \theta_1}$, lorsque τ_1, tend vers zéro, en dehors de l'intervalle $t - t_1 - r$, $t - t_1 + r$; et que dans les courts intervalles $t - t_1 - r$, $t - t_1 - r + \tau_1$, et $t - t_1 + r - \tau_1$, $t - t_1 + r$, on a $\int \Phi dt = \frac{1}{2}$.

» II. Cette fonction Ψ est précisément celle qui convient pour appliquer la transformation de Kirchhoff à une intégrale quelconque de l'équation (1), prise sous la forme $\Phi = \varepsilon^{-t} V$. Une discussion un peu plus minutieuse que pour les milieux transparents fournit le résultat suivant :

$$
\begin{aligned}
4\pi V_{t_1, x_0 y_0 z_0} = \Big\{ & \int\int\int \left[\frac{I'_0}{\theta_0} \frac{\partial V}{\partial t} - V \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{I'_0}{\zeta} \right) \right]_{t=0} dx\, dy\, dz + \int\int_{\text{Sphère } R=t} \left[\frac{V}{2} \right. \\
& \left. + \frac{1}{R} \left(\frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial V}{\partial r} \right) + \frac{V}{R^2} \right]_{t=0} dS + \int\int_{\text{Surface } \Sigma} \left[V \frac{I'_0}{\theta_0} \right. \\
& \left. + \frac{1}{r} \left(\frac{\partial V}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial \nu} + \frac{\partial V}{\partial \nu} \right) + \frac{V}{r^2} \frac{\partial r}{\partial \nu} \right]_{t=t_1-r} d\Sigma \\
& + \int\int_{\text{Surface } \Sigma} d\Sigma \int_0^{t_1 - r} \left[\left(\frac{\partial V}{\partial \nu} + \frac{\partial V}{\partial t} \frac{\partial r}{\partial \nu} \right) \frac{I'_0}{\theta_0} \right. \\
& \left. + V \frac{r}{\partial \nu} \left(\frac{\partial}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{I'_0}{\theta_0} \right) \right] dt \Big\} ;
\end{aligned}
$$

ε^{-t} est une fonction quelconque satisfaisant à l'équation (1). On obtient sa valeur dans le premier membre au point $x_0 y_0 z_0$, à l'époque t_1 quelconque, au moyen des valeurs relatives à l'époque o supposées données, de V et de $\frac{\partial V}{\partial t}$, dans tout le volume intérieur à une surface Σ quelconque, et des valeurs supposées données de V et de $\frac{\partial V}{\partial \nu}$ sur cette surface Σ depuis l'époque o (ν normale extérieure).

» La première ligne est une intégrale étendue à tout le volume intérieur à la fois à la sphère de rayon $R = t_1$ et à la surface Σ.

» Lorsque la sphère t_1 et la surface Σ se coupent, la seconde ligne est une intégrale de surface étendue à la partie de la surface sphérique intérieure à la surface Σ.

» La troisième et la quatrième ligne sont étendues à la partie de la surface Σ intérieure à la sphère t_1.

» III. La discussion de ces quatre termes montre bien la différence entre la propagation dans les conducteurs et la propagation dans les isolants.

» Un cas particulier de cette formule avait déjà été obtenu par Birkeland d'une manière différente ; c'est celui où la surface Σ est tout entière extérieure à la sphère ; V est alors défini par l'état initial.

» Le second cas particulier intéressant, qui correspond au principe d'Huygens, est celui où, dans l'état initial, V est nul à l'intérieur de toute la surface Σ. Le potentiel V est alors défini par les deux dernières intégrales, au moyen de la succession des valeurs de V et de $\frac{\partial V}{\partial \nu}$ en fonction du temps sur la surface Σ. »

Sur la production de la radioactivité induite par l'actinium, par **A. Debierne**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 671-673.

Les expériences de MM. Curie, Rutherford et Debierne montrent que la radioactivité induite provoquée par les composés de radium, de thorium et d'actinium, est produite par des centres particuliers d'énergie (ions activants ou émanation), qui sont dégagés d'une façon continue par le corps radioactif et se répandent autour de celui-ci.

Il a été montré, dans les Notes antérieures de l'auteur, que deux lames parallèles placées dans une enceinte activante s'activent d'autant plus que la distance qui les sépare est plus grande. L'activation est donc d'autant plus grande que le nombre d'ions activants présents entre les lames est plus grand. On est ainsi amené à penser que les centres activants n'agissent pas par contact direct avec les lames. Ceux qui sont éloignés agissent également. Tout se passe comme si l'activation était produite par un rayonnement particulier émis par chacun de ces centres, l'activation de la lame étant proportionnelle au flux total de rayonnement qu'elle absorbe.

Dans les nouvelles expériences de l'auteur, un composé d'actinium est placé au fond de la branche centrale d'un tube en ⊓⊓ ; les ions ac-

(1) En prenant, par exemple, $f(\tau) = \frac{2}{\tau_1} \sin^2 \pi \frac{\tau}{\tau_1}$, $0 \leq \tau \leq \tau_1$.

tivants se trouveront presque exclusivement dans le tube et deux lames A et B placées dans les deux branches extrêmes s'activeront cependant assez fortement et d'une manière identique par suite du rayonnement activant émanant de chacun de ces ions. Si l'appareil est placé dans un champ magnétique intense normal à son plan, on constate que l'activation de l'une des lames diminue fortement tandis que l'activation de l'autre lame augmente d'une quantité correspondante. Le rayonnement qui émane de ces ions activants est donc dévié dans un champ magnétique. La déviation se fait de la même manière que pour les rayons cathodiques, mais en sens inverse [1].

D'autre part, si l'on établit un champ électrique entre deux lames placées dans une enceinte contenant de l'actinium, l'activation de la lame chargée négativement est beaucoup plus forte que celle de la lame chargée positivement. Ce phénomène a déjà été constaté avec le thorium par M. Rutherford et se produit également avec le radium.

Les expériences précédentes, conclut l'auteur, *montrent qu'il existe un rayonnement nouveau caractérisé essentiellement par la propriété de rendre radio-actifs, d'une façon temporaire, les corps qu'il frappe.*

Ce rayonnement, qu'il appelle *rayonnement activant*, est émis par les centres activants répandus dans le gaz au voisinage de l'actinium. Ces nouveaux rayons possèdent la propriété d'être déviés dans un champ magnétique et dans un champ électrique. La déviation est celle qui aurait lieu pour des particules chargées positivement et animées d'une grande vitesse.

[1] Dans des conditions particulières, le champ magnétique semble produire un effet inverse de celui-ci. M. Debierne se propose de revenir plus tard sur ce phénomène encore incomplètement étudié.

Sur la chaleur dégagée spontanément par les sels de radium, par **P. Curie** et **A. Laborde**, *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 673-675.

Les auteurs ont constaté que les sels de radium dégagent de la chaleur d'une manière continue : Un couple thermoélectrique, fer-constantan, dont une des soudures est entourée de chlorure de baryum radifère, et dont l'autre est entourée de chlorure de baryum pur, accuse en effet une différence de température entre les deux corps.

Cette différence de température est de 1°,5 entre le chlorure de baryum radifère et le chlorure de baryum pur, le sel radifère ayant la température la plus élevée [1].

Les auteurs ont cherché à évaluer quantitativement la chaleur dégagée, dans un temps donné, par le radium.

Pour cela ils ont d'abord comparé cette chaleur à celle dégagée par un courant électrique d'intensité connue, dans un fil de résistance connue. Puis ils ont encore évalué la chaleur dégagée par le radium en faisant directement des mesures avec le calorimètre de Bunsen.

1 gr du chlorure de baryum radifère, avec lequel ont été faites la plupart des expériences, dégageait environ 14 petites calories à l'heure, mais la composition de ce produit n'est pas exactement connue : d'après l'activité radiante, il doit renfermer environ $\frac{1}{6}$ de son poids de chlorure de radium pur. Quelques mesures ont été faites avec un échantillon de 0,08 gr de chlorure de radium pur.

Les mesures faites par les deux méthodes conduisent à des résultats qui sont du même ordre de grandeur sans être absolument concordants.

On a trouvé que 1 gr de radium dégage une quantité de chaleur qui est de l'ordre de 100 *petites calories par heure*; 1 atome-gramme de radium (225 gr) dégagerait, pendant chaque heure, 22 500 calories, nombre comparable à celui de la chaleur dégagée par la combustion dans l'oxygène d atome-gramme d'hydrogène.

« Le dégagement continu d'une telle quantité de chaleur ne peut s'expliquer, disent les auteurs, par une transformation chimique ordinaire. Si l'on cherche l'origine de la production de chaleur dans une transformation interne, cette transformation doit être de nature plus profonde et doit être due à une modification de l'atome de radium lui-même. Cependant, une pareille transformation, si elle existe, se fait avec une extrême lenteur. En effet, les propriétés du radium n'éprouvent pas de variations notables en plusieurs années et Demarçay n'a

[1] Comme contrôle, on a répété l'expérience dans les mêmes conditions avec deux ampoules renfermant toutes deux du chlorure de baryum pur. Les différences de température observées sont alors seulement de l'ordre de grandeur de 1/100e de degré.

observé aucune différence dans le spectre d'un même échantillon de chlorure de radium en faisant deux examens à 5 mois d'intervalle. Si donc l'hypothèse précédente était exacte, l'énergie mise en jeu dans la transformation des atomes serait extraordinairement grande.

» L'hypothèse d'une modification continue de l'atome n'est pas seule compatible avec le dégagement de chaleur du radium. Ce dégagement de chaleur peut encore s'expliquer en supposant que le radium utilise une énergie extérieure de nature inconnue. »

Séance du 23 mars.

Sur une nouvelle espèce de lumière, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 735-738.

« Les radiations émises par un tube focus sont filtrées à travers une feuille d'aluminium ou un écran de papier noir, afin d'éliminer les rayons lumineux qui pourraient les accompagner. En étudiant ces radiations au moyen de leur action sur une petite étincelle, j'ai reconnu qu'elles présentent, dès leur émission, la polarisation rectiligne. J'ai constaté de plus que, lorsque ces radiations traversent une lame de quartz normale à l'axe, ou un morceau de sucre, leur plan d'action subit une rotation comme le plan de polarisation d'un faisceau de lumière (1),

» Je me demandai alors si l'on obtiendrait aussi une rotation en faisant passer les radiations du tube focus à travers une pile de micas de Reusch ; je constatai en effet une rotation de 25° à 30° dans le même sens que celle de la lumière polarisée. Cette action de la pile de micas me fit de suite penser qu'une seule lame de mica devait agir, et que cette action devait être la dépolarisation, ou plutôt la production de la polarisation elliptique ; c'est en effet ce qui a lieu : l'interposition d'une lame de mica, orientée de façon que son axe fasse un angle de 45° avec le plan d'action des radiations émises par le tube, détruit leur polarisation rectiligne, car leur action sur la petite étincelle demeure sensiblement la même quel que soit l'azimut de celle-ci. Si l'on interpose une seconde lame de mica, identique à la première, de façon que les axes des deux lames soient perpendiculaires l'un à l'autre, la polarisation rectiligne est rétablie ; on peut également la rétablir en employant un compensateur de Babinet : par conséquent, on a bien affaire à la polarisation elliptique.

» Maintenant, si la lame de mica change la polarisation rectiligne en polarisation elliptique, il faut que cette lame soit biréfringente pour les radiations qu'elle transforme ainsi. Mais, si la double réfraction existe, il faut, *a fortiori*, que la réfraction simple existe, et ainsi je fus conduit à examiner si, en dépit de toutes les tentatives infructueuses faites pour rechercher la réfraction des rayons X, je n'obtiendrais pas la déviation par un prisme. J'installai alors l'expérience suivante : un tube focus envoie à travers un écran d'aluminium un faisceau de rayons limité par deux fentes verticales pratiquées dans deux lames de plomb parallèles, épaisses de 3 mm. La petite étincelle est disposée à côté du faisceau, à une distance telle qu'elle ne puisse être atteinte, même pour la pénombre : on s'en assure en constatant que l'interposition d'une lame de plomb ne la diminue pas. Maintenant, interposons dans le faisceau un prisme équilatéral en quartz, l'arête réfringente du côté opposé à l'étincelle : si le prisme est convenablement orienté, l'étincelle devient beaucoup plus brillante ; lorsque l'on enlève le prisme, l'étincelle redevient plus faible. Ce phénomène est bien dû à une réfraction, car, si l'on change l'orientation du prisme, ou si on le remplace par une lame de quartz à faces parallèles, on n'observe plus aucun effet. On peut encore faire l'expérience d'une autre manière : on fait d'abord tomber le faisceau sur l'étincelle, puis on le dévie à l'aide du prisme : on recherche alors le faisceau en déplaçant latéralement l'étincelle, et l'on trouve qu'il est dévié vers la base du prisme, comme dans le cas de la lumière.

« La réfraction constatée, j'ai de suite essayé de concentrer les rayons au moyen d'une lentille de quartz. L'expérience réussit aisément ; on obtient l'image de l'anticathode, extrêmement bien définie comme grandeur et comme distance par un plus grand éclat de la petite étincelle.

» L'existence de la réfraction rendait celle de la réflexion régulière extrêmement probable. Celle-ci existe en effet : à l'aide d'une lentille de quartz, ou bien d'une lentille formée d'une enveloppe de corne très mince remplie d'essence de térébenthine, je produis un foyer conjugué de l'anticathode, puis j'intercepte le faisceau sor-

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 461, 21 mars 1903.

tant par une lame de verre poli placée obliquement : j'obtiens alors un foyer exactement symétrique par rapport au plan de réflexion, de celui qui existait avant son interposition. Avec une lame de verre dépoli, on n'a plus de réflexion régulière, mais on observe la diffusion.

» Si l'on dépolit la moitié d'une lame de mica, la moitié polie laisse passer les radiations, et la moitié dépolie les arrête.

» L'emploi d'une lentille permet de répéter les expériences de réfraction par le prisme dans des conditions beaucoup plus précises, en employant le dispositif de Newton pour obtenir un spectre pur.

» De tout ce qui précède il résulte que les rayons que j'ai ainsi étudiés ne sont pas ceux de Röntgen, puisque ceux-ci n'éprouvent ni la réfraction, ni la réflexion. En fait, la petite étincelle révèle une nouvelle espèce de radiations émises par le tube focus : ces radiations traversent l'aluminium, le papier noir, le bois, etc. ; elles sont polarisées rectilignement dès leur émission, sont susceptibles des polarisations rotatoire et elliptique, se réfractent, se réfléchissent, se diffusent, mais ne produisent ni fluorescence, ni action photographique.

» J'ai cru reconnaître que, parmi ces rayons, il y en a dont l'indice dans le quartz est voisin de 2, mais il en existe probablement tout un spectre, car, dans les expériences de réfraction par un prisme, le faisceau dévié semble occuper une grande étendue angulaire. L'étude de cette dispersion reste à faire, ainsi que celle des longueurs d'onde.

» En diminuant progressivement l'intensité du courant qui actionne la bobine d'induction, on obtient encore les nouveaux rayons, alors même que le tube ne produit plus aucune fluorescence et est lui-même absolument invisible dans l'obscurité ; ils sont toutefois alors plus faibles. On peut aussi les obtenir d'une manière continue, à l'aide d'une machine électrique donnant quelques millimètres d'étincelle.

» J'avais attribué précédemment aux rayons de Röntgen la polarisation, laquelle appartient en réalité aux nouveaux rayons ; il était impossible d'éviter cette confusion avant d'avoir observé la réfraction, et ce n'est qu'après cette observation que j'ai pu reconnaître avec certitude que je n'avais pas affaire aux rayons de Röntgen, mais bien à une nouvelle espèce de lumière.

» Il est intéressant de rapprocher ce qui précède de l'opinion émise par M. Henri Becquerel que, dans certaines de ses expériences, « des » apparences identiques à celles qui donnent » la réfraction et la réflexion totale de la lumière » pourraient avoir été produites par des rayons » lumineux ayant traversé l'aluminium [1]. »

Propagation dans les milieux conducteurs. Sources [2], par **Marcel Brillouin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVII, p. 746-749.

« III. L'intégrale de M. Poincaré, appliquée au milieu indéfini quand l'état initial ne dépend que de la distance à un point fixe, donne

$$V = \frac{\varepsilon^{-t}}{2r}\left\{ g(r+t) + g(r-t) + \int_{r-t}^{r+t}\left[g_1(\xi)\,I_0(\zeta) + g(\xi).t.\frac{I'_0}{\zeta}\right] d\xi \right\},$$

en posant

$$\zeta^2 = t^2 - (r-\xi)^2.$$

» L'état initial dans le milieu indéfini

$$V_0 = \frac{g(r)}{r}, \qquad \left(\frac{\partial V}{\partial t}\right)_0 = \frac{g_1(r) - g(r)}{r},$$

ne définit les fonctions g, g_1 que pour les valeurs positives de r.

» A. Si le point $r = 0$ n'est pas une source, c'est-à-dire si V doit y rester fini, il faut regarder g et g_1 comme des fonctions impaires.

$$g(-\xi) = -g(\xi), \qquad g_1(-\xi) = -g_1(\xi) ;$$

on a alors constamment $rV = 0$ pour $r = 0$.

» B. Si l'on veut avoir $\frac{\partial}{\partial r}(rV) = 0$ pour $r = 0$, il faut prendre, au contraire, pour g et g_1, des fonctions paires :

$$g(-\xi) = g(\xi), \qquad g_1(-\xi) = g_1(\xi).$$

» IV. *Sources isotropes.* — Cela posé, on forme facilement les intégrales relatives aux sources isotropes :

» (B). Soit

$$\frac{\partial}{\partial r}(rW)_{r=0} = f_1(t)\,\varepsilon^{-t} \qquad (-\infty < t < \infty)$$

avec

$$W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial t} = 0, \quad \text{pour} \quad t = 0, \quad r > 0.$$

---

(1) *Comptes rendus*, t. XXXII, p. 739 ; 25 mars 1901.

(2) Mêmes notations que dans la Communication précédente, $\theta_0 = \sqrt{\tau^2 - r^2}$.

» L'intégrale est

$$W_B = -\frac{\varepsilon^{-t}}{2r}\left[\int_{-\infty}^{t-r} f_1(\tau)\, I_0(\theta)\, d\tau + \int_{t+r}^{\infty} f_1(\tau)\, I_0(\theta)\, d\tau\right] + V_B,$$

en prenant, dans V_B, $r > 0$,

$$g(r) = g(-r) = \frac{1}{2}\int_r^{\infty} [f_1(\tau) + f_1(-\tau)]\, I_0(\theta_0)\, d\tau$$

et

$$g_1(r) = g_1(-r) = -\frac{1}{2}\Big\{ f_1(r) + f_1(-r) + r\int_r^{\infty} [f_1(\tau) + f_1(-\tau)]\, \frac{I'_0(\theta_0)}{\theta_0}\, d\tau \Big\}.$$

» (A). Soit

$$rW = f_2(t)\, \varepsilon^{-t} \qquad (-\infty < t < \infty)$$

avec $\quad W = 0, \quad \frac{\partial W}{\partial t} = 0, \quad$ pour $\quad t = 0. \quad r > 0.$

» L'intégrale est

$$W_A = \frac{\varepsilon^{-t}}{2r}\left[f_2(t-r) + f_2(t+r) + r\int_{-\infty}^{t-r} f_2(\tau)\, \frac{I'_0}{\theta}\, d\tau + r\int_{t+r}^{\infty} f_2(\tau)\, \frac{I'_0}{\theta}\, d\tau\right] + V_A$$

en prenant, dans V_A, $r > 0$,

$$g(r) = -g(-r) = -\frac{1}{2}\Big\{ f_2(r) + f_2(-r) + r\int_r^{\infty} [f_2(\tau) + f_2(-\tau)]\, \frac{I'_0}{\theta_0}\, d\tau \Big\}$$

et

$$g_1(r) = -g_1(-r) = -\frac{1}{2}\Big\{ \frac{\partial f_2(+r)}{\partial r} - \frac{\partial f_2(-r)}{\partial r} - r\, \frac{f_2(r) - f_2(-r)}{2} + r\int_r^{\infty} \tau\, [f_2(\tau) - f_2(-\tau)]\, \frac{\partial}{\partial \theta_0}\left(\frac{I'_0}{\theta_0}\right) \frac{d\tau}{\theta_0} \Big\}.$$

» Les deux intégrales W_A, W_B sont valables pour tout l'espace et pour toute époque, dans l'avenir et dans le passé. Si l'on se contentait de les connaître pour l'avenir, $t > 0$ (ou dans le passé $t < 0$), la fonction f_1 ou f_2 n'étant donnée que pour les valeurs positives (ou négatives) de t, on pourrait choisir la détermination de ces fonctions pour les valeurs négatives (ou positives) de t, de manière à simplifier l'intégrale additionnelle V_A ou V_B. On supprime V_B en prenant f_1 impaire ; dans V_A on peut seulement supprimer un des termes g en prenant f_2 impaire, ou g_1 en prenant f_2 paire.

» V. *Doublets.* — Ces deux intégrales permettent de former les intégrales qui conviennent pour un doublet électrique ou magnétique variable.

$$E_1 = -\frac{\partial^2 W_A}{\partial x \partial z}, \quad E_2 = -\frac{\partial^2 W_A}{\partial y \partial z}, \quad E_3 = \frac{\partial^2 W_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_A}{\partial y^2},$$

pour un doublet électrique orienté suivant l'axe des z, dont le moment électrique varie suivant une loi connue. (E_1, E_2, E_3, composantes de la force électrique). Il suffit de remplacer W_A par W_B, si c'est le débit qui est connu.

» Les mêmes expressions conviennent pour la force magnétique en fonction du moment magnétique d'un doublet magnétique.

» Le champ magnétique M_1, M_2, M_3 est lié au champ électrique par les équations

$$\frac{\partial^2 E_1}{\partial t^2} + 2\frac{\partial E_1}{\partial t} = \Omega\sqrt{\frac{\mu}{K}}\left(\frac{\partial M_2}{\partial y} - \frac{\partial M_2}{\partial z}\right),$$

$$+\Omega\sqrt{\frac{K}{\mu}}\, \frac{\partial M_1}{\partial t} = \frac{\partial E_3}{\partial y} - \frac{\partial E_2}{\partial z},$$

avec les unités de temps et de longueur employées dans ces deux communications.

» *Remarque.* — Les sources isotropes du n° IV ne sont pas des sources d'électricité. Une source d'électricité unique et arbitraire qui donnerait une force électrique radiale est incompatible avec les équations de Hertz. La force radiale due à une source unique se réduit nécessairement à la forme $F(r) + \varepsilon^{-2t} F_1(r)$ et est nulle, si le champ initial et sa dérivée par rapport au temps sont nuls. S'il y a deux sources, elles doivent être regardées comme formant une chaîne de doublets, qui crée une ligne de discontinuité dans le milieu conducteur.

» En supposant ces doublets synchrones, et de même moment par unité de longueur, on réalisera l'analogue de deux pôles opposés. Mais l'analogie avec les phénomènes d'état permanent n'est pas complète ; par suite de l'induction, la forme de la ligne de jonction ne disparaît pas du résultat, et le phénomène dans le conducteur n'est pas déterminé uniquement par les pôles.

» Si la ligne de doublets s'éloigne à l'infini, il ne reste qu'un pôle à distance finie ; mais ce pôle n'est pas isotrope ; il faut, pour achever de le définir, donner la forme de la ligne de doublets dont il est l'extrémité.

» VI. *Equation des télégraphistes.* — Les intégrales rW_A, rW_B sont des intégrales convenant à un câble indéfini dans un sens ($r > 0$), avec potentiel ou débit donné en fonction du temps à l'une des extrémités et état neutre pour $t = 0$.

» La discussion et les extensions naturelles de ces résultats, qui ne sauraient trouver place ici, feront l'objet d'une exposition détaillée dans un autre Recueil. »

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 25 Avril 1903. 10e Année. — N° 17

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

THÉORIE
DES ALTERNOMOTEURS POLYPHASÉS A COLLECTEUR (1)

M. Rotten, dans un brevet allemand n° 61951 du 21 janvier 1891 (pris parait-il pour le compte de M. Gœrges), a décrit pour la première fois des moteurs polyphasés à stator fixe et à rotor muni d'un collecteur, alimenté en série ou en dérivation.

M. Osnos, dans un récent article de ce journal, les attribue à M. Gœrges, qui du reste les décrivit au Congrès de Francfort la même année. D'autre part, comme on l'a vu par une longue polémique, MM. Heyland et Latour en réclament respectivement la réinvention, le premier parce qu'il estime en avoir changé la nature par l'addition de résistances entre les lames du collecteur, le second parce qu'il estime en avoir modifié le dimensionnement si profondément que le moteur serait devenu tout autre.

Les lecteurs sont naturellement embarrassés de se faire une idée juste au milieu de ces affirmations variées, et leur perplexité est encore accrue s'ils lisent les brevets de MM. Heyland et Latour (décembre 1900), car il y était seulement question de pare-étincelles, d'une part (M. Heyland, brevet allemand) et d'alternateurs générateurs auto-excitateurs, d'autre part (M. Latour, brevet français), et pas du tout de perfectionnements des moteurs à collecteur, ni du système Rotten.

Pour simplifier et écarter tout malentendu, je laisserai de côté, dès l'abord, toute question de *générateurs* à collecteur, et je m'occuperai des *moteurs* seuls, comme l'indique expressément le titre de mon étude.

Il me semble qu'avant de pouvoir juger si les indications données par MM. Heyland et

(1) Ce manuscrit a été remis au bureau du journal le 21 juin 1902. (Note de la Rédaction.)

Latour au sujet du réglage à cos $\varphi = 1$ des moteurs à collecteur constituent des *inventions*, à la différence des indications données autrefois pour le réglage à cos $\varphi = 1$ des moteurs synchrones, il serait nécessaire de savoir ce qu'on pouvait tirer de la description de Rotten et si ce réglage n'était pas évident. Autre chose est en effet de *reconnaître* des propriétés d'un appareil *existant*, au moins comme description (ce qui constitue un perfectionnement de la théorie), autre chose d'y ajouter des éléments nouveaux et réellement efficaces dans leurs effets.

Pour mettre les lecteurs à même de se faire à ce sujet une opinion raisonnée, je vais donc leur exposer la théorie du moteur, et les conditions de fonctionnement qu'on peut en déduire.

Les différentes publications faites sur le même sujet malgré toute leur valeur ne l'ont

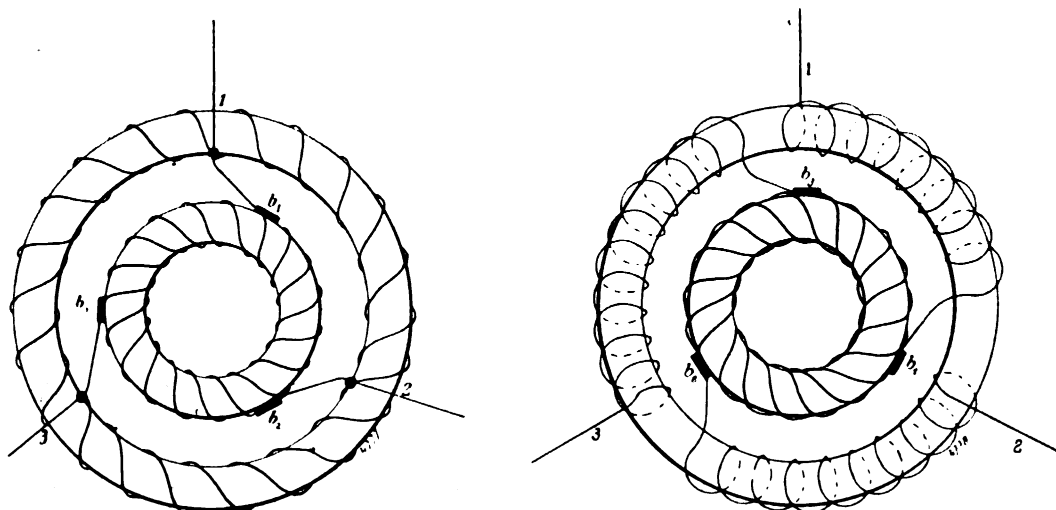


Fig. 1 et 1 *bis*. — Schémas des moteurs Rotten en dérivation et en série d'après le brevet de 1891.

pas en effet épuisé, car il me semble, peut-être à tort, qu'elles n'ont donné qu'une idée imparfaite de la théorie ; c'est ce qui m'a décidé à reprendre celle-ci dans son ensemble.

Si j'invoque ce fait pour excuser la publication d'un nouveau mémoire, après qu'il a coulé tant d'encre sur ce sujet, et si dans la suite je suis amené à critiquer certaines affirmations discutables de MM. Latour et Heyland, je tiens à ce qu'il soit bien entendu dès maintenant que je n'ai pas pour autant l'intention de réduire le mérite scientifique de leurs travaux, qui est indiscutable.

Je tiens au contraire, en commençant cette étude, à rendre hommage très sincèrement aux conceptions théoriques fort ingénieuses qu'ils ont eues dans deux directions différentes : M. Latour a fait preuve d'une pénétration et d'une ingéniosité remarquables bien rares chez un ingénieur de son âge, quand il a pensé à réaliser la réversibilité des moteurs Gœrges pour en faire des alternateurs sans décalage ou à décalage négatif, et sans étincelles ; M. Heyland n'a pas été moins ingénieux et entreprenant en se proposant d'introduire dans un *rotor à spires fermées* un courant excitateur dérivé sur le même réseau pour ramener le facteur de puissance à l'unité ; bien que sa solution soit finalement, comme on le verra, moins satisfaisante qu'un simple moteur Gœrges, sauf en ce qui concerne les étincelles aux balais, les idées qui l'ont inspiré ont à juste raison frappé le monde industriel comme originales et pleines d'intérêt.

La faveur qui a accueilli leurs communications dans les milieux techniques prouve aussi combien l'on avait oublié à tort l'ingénieuse invention de M. Gœrges; je serai heureux si par ce qui suit je peux montrer que son moteur contient en lui-même un des problèmes les plus intéressants de la théorie des courants alternatifs.

Description et analyse des moteurs Gœrges. — Je rappelle d'abord ce qu'il faut entendre par « Moteurs Gœrges » d'après le brevet cité ci-dessus, dont je reproduis ici les deux dispositions essentielles (fig. 1 et 1 *bis*). Ce sont des moteurs polyphasés, à stator ordinaire, et dont le rotor est bobiné comme un induit de dynamo à courant continu ou de moteur monophasé de E. Thomson, et auquel des courants polyphasés provenant de la même source que ceux du stator sont amenés par des balais fixes, auxquels on peut donner un calage variable suivant les conditions d'emploi.

M. Rotten indique deux modes d'alimentation de l'induit, comme pour toute dynamo, l'excitation en dérivation qu'il représente par la figure (A), et l'excitation en série, qu'il représente par la figure (B).

Ses figures et ses termes sont parfaitement expressifs au sujet de ces deux modes d'excitation.

Il ajoute une explication sommaire du fonctionnement, en considérant les champs magnétiques produits dans les deux parties du moteur par les courants provenant du réseau. La position relative du champ du rotor par rapport au champ du stator dépend de la position des balais, mais sa vitesse en est indépendante, et est la même que pour le champ du stator. Suivant que le champ du rotor précède ou suit un champ de même signe du stator, le rotor subit un couple dans le sens du champ tournant du stator ou en sens inverse.

Tout cet exposé est exact et définit les moteurs polyphasés à collecteur, qui étaient inconnus jusqu'alors, et les fait entrer dans le domaine public de l'Électrotechnique. Il n'y a qu'un oubli dans cette théorie à propos de l'intervention des courants d'induction dans le rotor, dans le cas de l'excitation en dérivation. Car, ainsi que l'a fort justement fait remarquer M. Latour, qui a complété utilement la théorie à ce point de vue, le rotor se comporte dans ce cas comme s'il était fermé en court-circuit par le réseau, dont la résistance est négligeable, ou tout au moins par le stator dont la résistance est faible. Si le champ tournant du stator est décalé en arrière du champ produit dans le rotor par le courant d'excitation, il y aura bien toujours un couple, qui, suivant l'explication de Rotten, tendra à faire tourner le rotor dans le sens inverse des champs, mais en réalité cette tendance sera contrebalancée par le couple auquel donneront naissance les courants induits. Il y aura seulement un retard du rotor jusqu'à ce que le glissement soit suffisant pour produire un couple moteur prépondérant par induction. On voit que l'auteur en rédigeant sa théorie pensait surtout aux moteurs-série.

Mais il ne s'en suit nullement que le moteur Gœrges shunt tel qu'il est décrit soit inutilisable. Il ne fonctionne que de l'une des manières décrites par son auteur, mais celle-là reste parfaitement bonne, et c'est même pour les moteurs-série la seule intéressante.

Le brevet n'indique pas, il est vrai, les meilleures conditions de fonctionnement à remplir ni les dimensionnements des diverses parties; mais ce n'est pas l'usage d'indiquer le dimensionnement dans les brevets et il est bien évident que les conditions de bon rendement communes à tous les moteurs électriques, en particulier aux moteurs asynchrones et aux moteurs shunt en général, doivent être remplies.

Or, elles font désirer qu'en marche normale l'induit s'écarte peu de la vitesse qui annule les courants de Foucault et l'hystérésis du rotor, c'est-à-dire, dans le cas particulier considéré, de la vitesse du synchronisme.

Quant au dimensionnement nécessaire pour réaliser telle ou telle vitesse au régime moyen, il est bien évident qu'il dépend du nombre de spires du rotor tournant dans le champ constant du stator, de même que la vitesse d'un moteur shunt à courant continu dépend du nombre de spires de son rotor.

Ce sont là des propriétés générales des moteurs électriques, et par conséquent elles étaient inutiles, je crois, à spécifier plus spécialement pour les moteurs Gœrges que pour tous autres.

Ces moteurs avaient et ont par contre une propriété toute spéciale, c'est de ne pas présenter de self-induction dans le rotor au synchronisme. Elle a été signalée clairement en 1891 par M. Gœrges dans la conférence citée plus haut en ces termes : « L'anneau tournant est, à l'état de repos et pour les faibles vitesses, le siège d'une force électromotrice du même sens que le courant qui le traverse. Pour la marche synchronique, cette force électromotrice est nulle : l'anneau mobile est alors aimanté comme les inducteurs d'une machine en série à courant continu, tandis que la force électromotrice produite par la rotation réside dans la partie fixe ».

Bien que cette phrase mentionne plus particulièrement le moteur-série, qui à cette époque paraissait le plus intéressant, elle est fort claire et s'applique sans changement au moteur en dérivation. Dans la même conférence M. Gœrges indiquait du reste aussi l'analogie de propriétés des moteurs asynchrones avec les moteurs shunt à courant continu.

M. Gœrges n'a pas indiqué, je crois, la possibilité d'annuler le décalage à la vitesse du synchronisme, parce qu'on ignorait à cette époque cette propriété des moteurs synchrones. Je l'ai démontrée pour la première fois dans une étude parue dans la Lumière Électrique (1892, 27 août, p. 423), et comme elle est générale *pour tous les moteurs synchrones*, il est évident qu'elle s'applique aussi aux moteurs Gœrges lorsqu'ils fonctionnent au synchronisme et sont alors des moteurs synchrones à inducteur tournant d'après la remarque de Gœrges ci-dessus. Le *seul fait* que ces moteurs peuvent travailler au synchronisme implique donc forcément, pour tout électricien connaissant son métier, qu'un simple réglage des ampèretours inducteurs permettra de supprimer tout décalage de leur courant et même de l'inverser si l'on veut; peu importe dans ces conditions que Gœrges ait ou n'ait pas mentionné cette possibilité, puisqu'elle va de soi et est une conséquence pure et simple du fonctionnement synchronique, reconnue postérieurement à sa publication.

Il est oiseux, je trouve, de discuter comme l'ont fait quelques auteurs sur la question de savoir si le moteur Gœrges doit être classé parmi les moteurs *de conduction* ou *d'induction*, vu qu'il peut être à volonté l'un ou l'autre, et même l'un et l'autre. Excité en série, il est de conduction. Avec rotor mis en court-circuit sur résistance par les balais, il est d'induction. Enfin excité en shunt, il est de conduction au synchronisme, et mixte (c'est-à-dire avec conduction et induction simultanées), dès qu'il y a perte de synchronisme.

Au fond il n'y a que *deux choses caractéristiques* dans le moteur Gœrges, et qui le définissent à elles seules complètement : 1° l'emploi de courants polyphasés à la fois dans le stator et le rotor; 2° l'emploi d'un collecteur et de balais pour le rotor. Tout le reste n'est que *choix* entre les modes d'excitation, suivant que celle-ci est en série, en shunt, ou par induction, et choix des tensions d'alimentation, et des nombres d'ampèretours, comme dans toutes les machines électriques, génératrices ou réceptrices.

L'addition de résistances entre lames du collecteur, qui, dans le système de M. Heyland, devrait transformer un moteur de conduction en moteur d'induction, ne peut donc avoir ce résultat, par la bonne raison que, sans ces résistances, le moteur Gœrges est tout aussi bien un moteur d'induction dès qu'il s'écarte du synchronisme.

Enfin, il importe fort peu, à mon sens, que l'excitation dérivée du rotor, indiquée par le brevet Rotten (fig. 2), soit faite directement ou avec interposition d'un transformateur à potentiel constant entre le réseau et le stator ou entre le réseau et le rotor, car en courants alternatifs, tout le monde sait interposer des abaissements ou des élévations constantes de tension par transformateurs aux bornes de tel ou tel appareil ou parties d'appareil. Il est bien évident du reste que Rotten ou Goerges n'avaient pas l'intention de s'obliger à alimenter les balais à la même tension que le stator, notamment quand le stator doit être relié directement à un réseau de haute tension comme on le fait souvent. Ce qui va de soi pour des moteurs à 2 000 volts, est aussi bien facultatif pour des moteurs à 110 volts, si l'on y trouve un avantage, par exemple, pour réduire le nombre de spires et la finesse du fil d'excitation, comme l'a dit M. Latour. On le ferait aussi du reste sur les dynamos à shunt à courant continu, si on avait des transformateurs statiques pour courant continu. En fait l'abaissement préalable de la tension par transformateur pour l'auto-excitation des alternateurs par courants redressés au moyen d'un commutateur tournant a été indiquée, il y a quinze ans, par Zipernowsky, Déri et Blathy; elle s'applique ici sans changement, exactement dans le même but. De même l'abaissement de tension de l'excitation, réalisé en dérivant le courant des balais non pas sur le réseau, mais sur une partie de l'enroulement du stator, remonte à la même époque, et le premier emploi en a été fait en Amérique par la Compagnie Thomson-Houston.

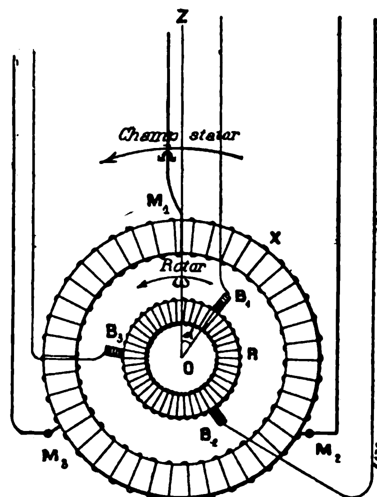


Fig. 2.

Dans tout ce qui suit nous considérerons donc, pour plus de généralité, comme indépendantes les tensions appliquées par le réseau aux bornes du stator et aux bornes du rotor, et nous les désignerons en conséquence par U_1 et U_2, et nous désignerons par m le rapport de transformation correspondant. Nous obtiendrons ainsi les propriétés des moteurs Gœrges dans toute leur généralité et leur complexité.

Notations. — Je conserverai ici les notations employées dans mes précédents mémoires sur les moteurs asynchrones, afin de permettre des comparaisons entre les formules correspondantes. Nous appellerons donc :

$2p$ le nombre de pôles tournants, T la fréquence du réseau, Ω la vitesse de pulsation correspondante $= \frac{2\pi}{T}$, ω la vitesse de pulsation qui correspondrait à la vitesse du rotor, g le coefficient de glissement $\left(g = \frac{\Omega - \omega}{\Omega}\right)$.

N_1 et N_2 les nombres totaux de fils périphériques des enroulements du stator et du rotor respectivement;

q_1 et q_2 les nombres de phases des courants. (Pour plus de généralité, nous supposerons que ce nombre peut être accru sur le rotor);

r_1 et r_2, les résistances de chaque circuit de phase du stator et du rotor;

λ_1 et λ_2, les inductances de ces enroulements, non compris les fuites;

l_1 et l_2, les inductances relatives aux fuites seules;

K_1 et K_2, deux coefficients d'utilisation des spires des enroulements pour la production des flux, suivant ma théorie des champs magnétiques tournants;

k_1 et k_2, les coefficients de réduction correspondant à l'utilisation des mêmes enroulements pour la production des forces électromotrices ;

U_1 et U_2, les tensions aux entrées du stator et du rotor respectivement;

E_1 et E_2, les forces électromotrices induites dans ces deux organes;

I_1 et I_2, les courants qui les traversent;

F, le flux résultant dans l'entrefer, F_1 et F_2 les flux totaux (fuites comprises) à travers les enroulements du stator et du rotor.

a, le rapport de transformation du moteur $a = \frac{K_2 N_2}{\nu_1 K_1 N_1}$.

Production de la force électromotrice induite dans le rotor. — Étudions d'abord les forces électromotrices des rotors à collecteur en les comparant pour bien éclaircir la question à celles qui se produisent dans un rotor ordinaire. Considérons, pour simplifier l'exposé, un induit bipolaire R en anneau (fig. 2), mobile dans le champ tournant F, produit par un stator inducteur X. Une spire bobinée sur le rotor R n'est le siège d'une force électromotrice que si elle subit un déplacement relatif par rapport au flux tournant supposé constant (nous négligeons les pulsations).

Cette force électromotrice, nulle au synchronisme, croît proportionnellement à la vitesse relative, c'est-à-dire au glissement suivant l'expression consacrée et la fréquence des courants induits est celle même du glissement.

En effet, si on appelle Ω la vitesse absolue dans l'espace du champ tournant inducteur, ω celle de l'induit, F le flux à travers une spire fixée sur le rotor, flux donné par la formule

$$F = F_0 \sin (\Omega - \omega) t$$

en prenant comme origine des temps, pour simplifier, le moment où ce flux est nul, la force électromotrice induite dans une spire du rotor sera

$$e = -\frac{dF}{dt} = -F_0 (\Omega - \omega) \cos (\Omega - \omega) t.$$

Si l'on réunit ces spires en série en plusieurs groupes, pour former des circuits polyphasés aboutissant à des bagues par des connexions fixes relativement au rotor, comme on le fait dans les moteurs asynchrones ordinaires (fig. 3), la vitesse de pulsation dans chaque groupe reste la même (Ω—ω), et les forces électromotrices des spires associées s'ajoutent vectoriellement, c'est-à-dire en tenant compte des différences de phase entre les courants induits dans les spires d'un même groupe.

Au contraire, si l'on groupe les mêmes spires d'induit en série variable, au moyen d'un collecteur aboutissant à des balais (fig. 2), leurs forces électromotrices s'ajoutent bien encore avec leurs différences de phases et suivant le même facteur d'addition résultant, ainsi que nous l'indiquerons ci-dessous, mais les forces électromotrices recueillies aux balais présentent une fréquence différente et égale à la fréquence du champ tournant dans l'espace avec la vitesse Ω.

Cette propriété est depuis bien longtemps connue par les moteurs Thomson, Déri et Rotten.

A première vue cette différence de fréquence dans les deux modes de captation des courants induits surprend, mais on s'en rend compte aisément en imprimant par la pensée à tout le système une rotation de sens inverse et de même vitesse Ω que le champ, de façon à ramener celui-ci à l'immobilité dans l'espace.

Cette hypothèse est permise parce qu'elle ne change ainsi rien aux vitesses relatives du rotor et du stator.

On a alors affaire à un système plus aisé à comprendre, formé d'un champ fixe NS (fig. 4), d'un induit tournant en sens inverse du précédent avec une vitesse variable $\Omega - \omega$ et de balais tournant en sens inverse aussi, avec la vitesse constante Ω.

Dans ces conditions, on voit que le rotor ordinaire à spires fermées est évidemment le siège de forces électromotrices de fréquence égale à celle de sa rotation, soit $\Omega - \omega$; si le champ est supposé sinusoïdal, la force électromotrice induite dans une spire varie pen-

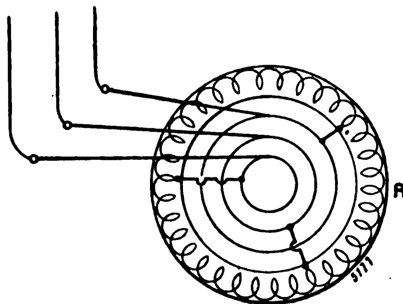


Fig. 3.

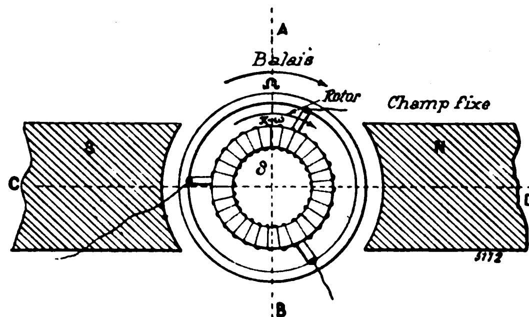


Fig. 4.

dant la rotation suivant une loi sinusoïdale. Elle est nulle suivant le diamètre de commutation AB, maxima suivant le diamètre perpendiculaire CD et proportionnelle à la vitesse de rotation.

Le flux à travers une spire est en effet défini par une expression de la forme

$$F = \frac{1}{2} F_0 \sin \delta$$

F_0 étant le flux total, δ l'angle du diamètre contenant la spire considérée, avec la ligne de l'axe des pôles.

La force électromotrice dans la spire est la dérivée du flux.

$$e = -\frac{dF}{dt} = -\frac{F_0}{2} \cos \delta . \frac{d\delta}{dt}$$
$$= -\frac{F_0}{2} (\Omega - \omega) . \cos \delta .$$

Si l'on fait tourner maintenant autour de ce collecteur avec la vitesse Ω le système de q balais équidistants, ils recueilleront des forces électromotrices résultantes q-phasées, intégrales des précédentes additionnées dans l'étendue d'un secteur $\frac{2\pi}{q}$.

Le maximum a lieu évidemment quand ce secteur a son milieu en face du milieu des pôles inducteurs et a pour expression la somme

$$e_p = -\int_{-\frac{\pi}{q}}^{+\frac{\pi}{q}} \frac{N_2}{2\pi} (\Omega - \omega) \frac{F_0}{2} \cos \delta \, d\delta$$

ou

$$e_p = -\frac{N_2}{2\pi} (\Omega - \omega) F_0 \sin \frac{\pi}{q},$$

en appelant N_2 le nombre de conducteurs périphériques

Posons

$$e_p = E_c . \sin \frac{\pi}{q}$$

On voit que E_c est la force électromotrice totale du courant continu qu'on recueillerait avec des balais fixés suivant la ligne neutre.

Puisque les balais tournent avec la vitesse Ω, la force électromotrice recueillie varie sinusoïdalement entre o (quand le milieu des balais est en face de la ligne neutre) et le maximum.

On a donc en prenant comme origine des temps les passages au zéro

$$e_p = (\Omega - \omega) \frac{N_2 F_0}{2} \left(\frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} \right) \sin \Omega t$$

et la force électromotrice efficace est :

$$E = \frac{(\Omega - \omega) N_2 F_0}{2\sqrt{2}} \left(\frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} \right).$$

Les forces électromotrices entre les balais successifs deux à deux suivent évidemment cette même loi avec des phases décalées de $\frac{2\pi}{q}$.

Plus généralement, si les spires ne sont pas uniformément réparties sur l'anneau mais contenues dans des encoches en nombre limité, on écrira

$$E = \frac{(\Omega - \omega) k_2 N_2 F_0}{2\sqrt{2}}$$

k_2 étant un coefficient de réduction qui remplace $\frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{q}$ et dont j'ai donné, il y a plusieurs années, les valeurs [1]. Les mêmes formules sont aussi applicables aux induits bobinés en tambour et en tension, quel que soit le nombre des pôles.

Supposons au contraire qu'on ait employé l'induit à la manière ordinaire en recueillant les courants par des bagues aboutissant par connexions fixes à des sections de l'induit de l'angle $\frac{2\pi}{q}$. La force électromotrice de chaque section eût été l'intégrale

$$e'_p = - \int_{\delta - \frac{\pi}{q}}^{\delta + \frac{\pi}{q}} \frac{1}{2} (\Omega - \omega) \frac{N_2 F_0}{2\pi} \cos \delta d\delta.$$

ou

$$e'_p = - \frac{1}{2} (\Omega - \omega) \frac{N_2 F_0}{2\pi} . 2 \sin \frac{\pi}{q} . \cos \delta$$

dans laquelle δ varie pendant la rotation suivant la loi

$$\delta = (\Omega - \omega) t$$

Si on prend comme origine des temps le moment où l'angle δ est nul, on a :

$$e'_p = - (\Omega - \omega) \frac{N_2 F_0}{2} \left(\frac{1}{\pi} \sin \frac{\pi}{q} \right) \cos (\Omega - \omega) t$$

dont la valeur efficace est identique à la précédente.

---

(1) Propriétés des champs magnétiques tournants. (*L'Éclairage Électrique*, mai 1895).

On peut donc dire *qu'il est absolument équivalent au point de vue des courants induits dans le rotor par le glissement, qu'ils soient captés par des bagues à la façon ordinaire ou par des balais et un collecteur suivant le procédé de Gœrges.*

Courant dans le rotor (fig. 5). — Le rotor est parcouru par un courant dont la cause productrice est double. D'une part, il reçoit à ses balais l'effet de la force électromotrice du réseau abaissée ou non par un transformateur ; d'autre part, il est le siège de la force électromotrice que nous venons d'évaluer par sa rotation relative par rapport au champ tournant, quand sa vitesse s'écarte du synchronisme.

Examinons successivement ces deux forces électromotrices au point de vue de leurs effets dans le rotor et du repérage relatif de leurs phases.

1° La force électromotrice du réseau est caractérisée par rapport au rotor par sa valeurefficace U_2 qui dépend des transformateurs interposés entre le réseau et le rotor (connue pour tout appareil alimenté pour un réseau de haute tension) et par sa phase qui dépend essentiellement du calage des balais. Il est donc nécessaire de savoir rapporter celle-ci à la phase du vecteur principal fixe que nous choisissons comme repérée qui sera la tension aux bornes du stator U_1. Nous admettrons, comme on le fait ordinairement en négligeant l'effet de la résistance ohmique du stator devant sa résistance apparente, que ce vecteur est sensiblement égal et opposé à la force électromotrice induite dans le stator E_1, laquelle est, comme d'habitude, décalée de $\frac{\pi}{2}$ en retard par rapport au flux tournant qui la produit. Il est facile de voir d'ailleurs que c'est à ce vecteur U_1 que la phase doit etre rapportée, car il n'y a que deux choses fixes dans le moteur, les points d'entrée des courants dans le stator, et le calage des balais du rotor, qui peut être modifié suivant les cas.

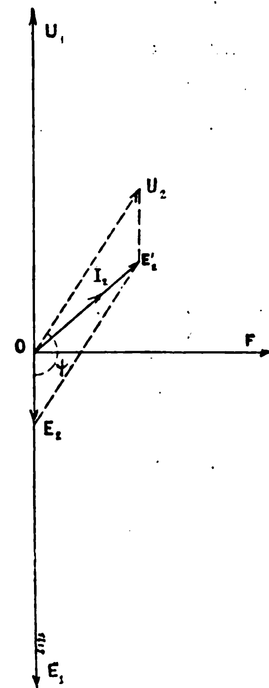


Fig. 5.

Quand le rotor est arrêté, les balais constituent pour lui des entrées analogues à celles du stator ; la rotation du rotor ne fait que déplacer ces points d'entrée par rapport à son enroulement, mais non dans l'espace, ni par suite par rapport au stator. La phase de la force électromotrice extérieure appliquée au rotor sera donc toujours définie, même en marche, quand on connaîtra son décalage (généralement nul) par rapport à U_1 et le calage des balais α (fig. 2) et il n'y a qu'à définir la position de calage nul des balais ; le décalage des balais donne la phase α (fig. 5) suivant laquelle se trouve décalée la tension U_2 par rapport au rotor, alors qu'elle est extérieurement en phase avec U_1.

Nous choisirons pour position initiale (α et o) des balais (fig. 2) celle qui fait coïncider phase pour phase les axes des balais avec les axes des entrées du stator s'il est bobiné aussi en triangle ou, plus généralement, celui qui ferait produire par les mêmes courants envoyés dans le stator et le rotor en série, des champs statoriques et rotoriques coïncidant et de même sens. Le champ tournant commun résultant produit alors dans les deux parties du moteur des forces électromotrices concordantes [1] et qui diffèrent seulement d'amplitude, en proportion des nombres de spires respectifs du stator et du rotor.

---

[1] Ce champ tournant commun est celui que nous appellerons plus tard F et qu'il faudra alors distinguer de F_1 et F_2. Provisoirement, pour simplifier, nous supposons F, F_1 et F_2 confondus ensemble.

***

Si maintenant on fait agir la force électromotrice U_1 du réseau sur le stator et le rotor maintenu au repos dans cette situation et couplés en dérivation, elle tendra encore à produire dans tous deux des champs tournants concordants dont les vecteurs encore coïncidants entre eux sont alors décalés sensiblement de $\frac{\pi}{2}$ en retard du vecteur U_1 par suite de la self induction (renforcée par l'induction mutuelle) alors prépondérante des deux enroulements.

Au contraire lorsque le rotor atteint la vitesse du synchronisme ou une vitesse voisine, sa force électromotrice E_2 s'annule comme l'a indiqué Gœrges, et par suite le flux du rotor produit par le courant qui passe aux balais se met en phase avec la force électromotrice U_1 ; pour ramener ce flux en concordance avec celui du stator, il faudra donc décaler les balais en arrière par rapport au sens du mouvement de $\frac{\pi}{2}$ (1/4 de période), c'est-à-dire d'un demi-espace polaire, comme le fait sans doute M. Heyland. En général l'angle α en fonctionnement normal sera compris entre π_2 et π_1 comme on le verra.

Remarque. — Nous en concluons en passant (c'est une digression) que pour produire en marche à vide l'excitation du moteur par son rotor, alimenté en dérivation aux bornes du stator, le calage des balais, rapporté à la position définie comme zéro, doit être voisine de $\frac{\pi}{2}$ (en désignant par 2π l'espace de deux pôles).

On voit que dans ces conditions si l'on règle par construction (c'est-à-dire par le nombre et la résistance des spires de l'enroulement comme pour le circuit d'excitation d'un moteur shunt), ou par une résistance additionnelle ou par une réduction du voltage aux balais au moyen d'un transformateur, l'intensité de ce courant d'excitation de manière qu'elle crée un flux *précisément égal* au flux F_1 qui se produit naturellement par le courant à vide du stator s'il n'y avait pas d'enroulement sur le rotor, le stator ne serait plus le siège d'aucun courant magnétisant et ses circuits ne seraient parcourus que par un courant watté très faible suffisant pour vaincre le travail des frottements. C'est ce qu'ont remarqué tout simplement MM. Latour et Heyland.

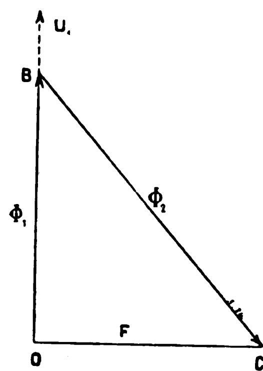


Fig. 6.

Supposons toujours que le régime du synchronisme soit maintenu, mais que le moteur doive fournir du travail, le stator sera forcément parcouru par des courants wattés importants, et si l'on veut maintenir au synchronisme le même flux d'excitation résultant F_1 sans emprunter un courant déwatté au réseau par le stator, il faudra que les ampèretours $K_2N_2I_2$ produits par le courant d'excitation compensent la réaction des ampèretours primaires $K_1N_1I_1$ dus au courant watté. Plus généralement si I_1 est le courant primaire, le flux d'excitation Φ_2 (fig. 6) dû à la source extérieure devra être la résultante BC du flux constant F que l'on veut produire et de la réaction d'induit Φ_1 changé de sens, nous voyons ainsi intuitivement sans aller plus loin que le triangle OBC *est le même que dans tout moteur synchrone ;* nous verrons plus loin à le compléter et à l'étudier comme cas particulier de triangles plus généraux.

2° La force électromotrice de glissement que nous avons calculée ci-dessus n'apparaît que lorsque le moteur ralentit de vitesse au-dessous du synchronisme ($\omega < \Omega$) ou accélère au delà du synchronisme ($\omega > \Omega$).

Dans le premier cas que nous considérons en général, elle tend comme dans tout moteur asynchrone à produire des courants induits de sens opposé à ceux des courants du stator et qui exerceront (suivant la loi de Lenz d'ailleurs) un effet démagnétisant sur le

champ. Nous les représenterons par un vecteur I_2 auquel nous donnerons la direction opposée à I_1 sur le diagramme, pour indiquer cette action démagnétisante.

D'ailleurs la force électromotrice induite E_2 proportionnelle au glissement et au flux résultant F supposé constant sera représentée, suivant l'usage par un vecteur E_2 décalé de $\frac{\pi}{2}$ en retard par rapport à F_1 c'est-à-dire dirigé vers le bas, s'il n'y avait pas de force électromotrice sur le réseau et qu'on n'ajoute entre les balais et le réseau que des appareils de réglage dénués de réactance (laquelle a, en général, un effet fâcheux), la force électromotrice E_2 tendrait à donner lieu simplement à un courant i_2 en phase avec elle. A l'arrêt, il en sera à peu près ainsi ; et la force électromotrice E_2 qui croît rapidement avec le glissement, sera tout à fait prépondérante par rapport à la force électromotrice U_2 appliquée aux balais et (ainsi que l'a déjà signalé M. Latour) la résistance du réseau étant aussi négligeable devant celle du rotor, celui-ci se trouvera dans la situation d'un rotor en court circuit, qui consommera sur lui-même sa force électromotrice, comme dans un moteur asynchrone ordinaire. Au contraire, dans les conditions normales de marche, c'est-à-dire au synchronisme ou avec de faibles glissements, la force électromotrice E_2 ne sera que du même ordre de grandeur que la force électromotrice injectée dans le rotor U_2 (fig. 7) et on devra donc les composer ensemble pour obtenir la force électromotrice résultante E'_2 qui donnera naissance au courant résultant du rotor I_2.

Celui-ci sera encore en phase avec la force électromotrice résultante E'_2 si l'on suppose nulle l'impédance du circuit extérieur.

Puissance et couple moteur (fig. 7). — Nous pouvons dès maintenant évaluer les puissances utilisées et les puissances perdues d'une manière analogue à ce qu'on fait pour les moteurs asynchrones ordinaires. Nous supposerons d'abord pour fixer les idées que le rotor tourne moins vite que le stator.

Fig. 7.

Si l'on appelle E_1 et I_1 la force électromotrice et l'intensité du courant primaire de chaque phase en valeur efficace, φ leur décalage, q_1 le nombre de phases primaires, et C le couple moteur produit, $2p$ le nombre de pôles, tout en négligeant d'abord les pertes par courants de Foucault et par hystérésis dans le stator, la puissance électrique fournie au stator seul est :

$$P_1 = q_1 U_1 I_1 \cos\varphi$$

et la partie utilisée est

$$q_1 U_1 I_1 \cos\varphi - q_1 r_1 I_1^2.$$

De même la puissance fournie au rotor par le réseau est en négligeant les pertes par courants de Foucault et hystérésis

$$P'_1 = q_2 U_2 I_2 \cos\varphi'$$

et la partie utilisée est

$$q_2 U_2 I_2 \cos\varphi' - q_2 r_2 I_2^2.$$

La puissance transformée en travail mécanique sur l'arbre est ainsi

$$P_m = q_1 U_1 I_1 \cos\varphi + q_2 U_2 I_2 \cos\varphi' - q_1 r_1 I_1^2 - q_2 r_2 I_2^2$$

Une partie de cette puissance est fournie par le stator au rotor. Si on appelle C le couple moteur qui s'exerce par action électromagnétique du stator sur le rotor, Ω la vitesse

du stator, et ω celle du rotor, on voit que le stator transmet une puissance mécanique

$$C \frac{\Omega}{p}$$

Comme le rotor ne tourne qu'à la vitesse ω, il ne reçoit qu'une puissance sur l'arbre

$$\frac{C\omega}{p}$$

et la différence que nous appellerons P_r est perdue par le *glissement* ou différence de vitesse.

Cette puissance P_r peut être considérée comme résultant d'une contre vitesse Ω-ω appliquée au même couple C, d'où l'expression

$$P_r = \frac{(\Omega - \omega)}{p} C = \frac{(\Omega - \omega)}{\Omega} \cdot P_1$$

L'énergie fournie par le stator diminuée des pertes par effet Joule et autres étant transformée en travail mécanique au moyen du couple électro-magnétique C, la conservation de l'énergie donne l'expression du couple moteur

$$C = \frac{P}{\frac{\Omega}{p}} = \frac{p q_1 E_1 I_1 \cos \varphi}{\Omega}$$

Cette expression tout à fait générale est donc la même que pour les moteurs asynchrones et les moteurs synchrones.

Mais elle ne tient pas compte de toutes les pertes et il convient de remarquer que des dépenses d'énergie supplémentaires doivent être ajoutées à la puissance que nous venons d'indiquer pour avoir la puissance totale prise par le moteur.

Tout d'abord, dans le stator il existe une perte par effet Joule, une perte par hystérésis w_h et une perte par courants de Foucault w_f. De sorte que la puissance prise aux bornes du stator est en réalité

$$P_1 = q_1 E_1 I_1' \cos \varphi' = C \frac{\Omega}{p} + q_1 E_1 I_1'^2 + w_h + w_f$$

On a de même pour le rotor à ajouter des pertes $+ w_h' + w_f'$ par hystérésis de Foucault.

$$P_r = q_2 U I \cos \varphi + q U \delta^2 + w_h' + w_f'$$

D'autre part la puissance mise en jeu dans le rotor n'est pas seulement la puissance transmise par le stator C $(\Omega$-$\omega)$ comme dans un rotor ordinaire fermé. Ce terme représente seulement la puissance perdue par la force électromotrice induite E_2 agissant sur le courant I_2 ; autrement dit, si on appelle β (fig. 7) le décalage entre I_2 et E_2

$$C (\Omega - \omega) = E_2 I_2 \cos \beta$$

Il y a en outre à tenir compte de l'énergie échangée directement entre le rotor et le réseau à la tension U_2, c'est-à-dire $I_2 U_2 \cos \beta'$.

Cette énergie est de même signe que la précédente si U_2 est dirigé dans le même sens que E_2 par rapport au vecteur I_2 (fig. 8) c'est-à-dire donne sur I_2 une projection de même signe. Dans ce cas il y a perte d'énergie du réseau dans le rotor, et cette perte s'ajoute à celle communiquée par le stator. Leur somme est égale d'ailleurs dans ce cas à la perte

par effet Joule :

$$q_2 r_2 I_2' = \frac{C(\Omega - \omega)}{p} + U_2 I_2 \cos U_2$$

Les deux dépenses d'énergie dans le rotor produites respectivement par U_2 et E_2 peuvent encore s'écrire notamment en désignant par ψ l'angle de décalage compris entre U_2 et E_2 et projetant I_2 sur U_2 puis sur E_2.

Dépense de U_2 :

$$\frac{U_2^2}{r_2} + \frac{U_2 E_2 \cos \psi}{r_2} ;$$

dépense de E_2 :

$$\frac{E_2}{r_2} + \frac{U_2 E_2 \cos \psi}{r_2} .$$

On voit qu'on ne peut plus évaluer le rendement simplement d'après le glissement

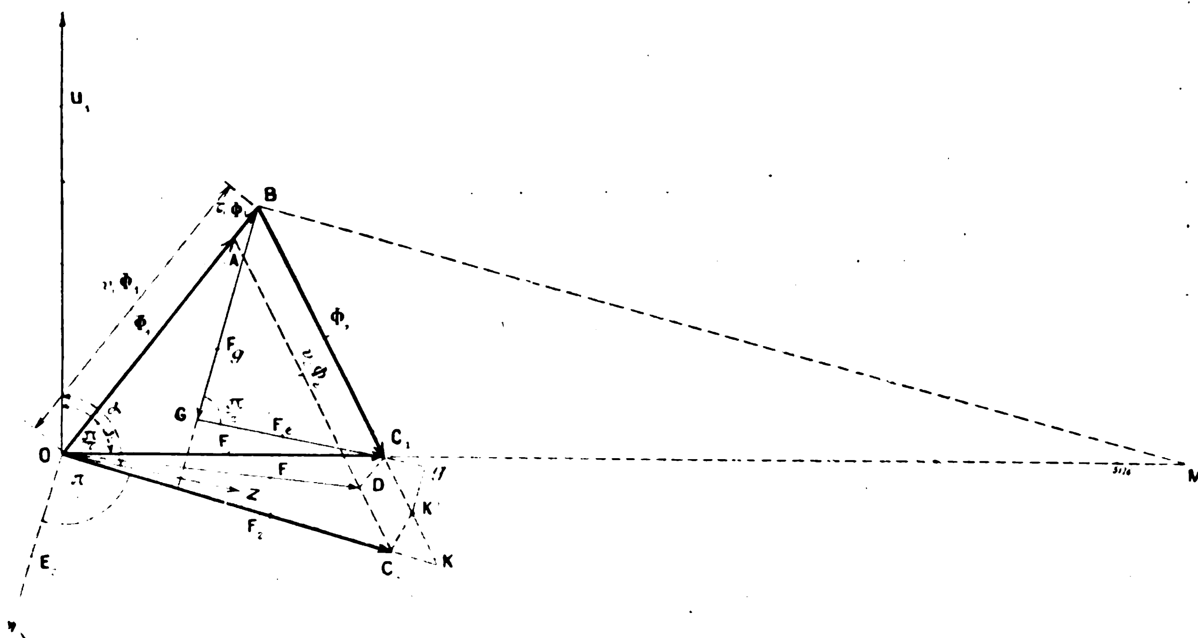


Fig. 8. — Diagramme des flux.

comme dans un moteur asynchrone ordinaire et qu'à perte totale égale dans le rotor le glissement devra être moindre. En outre si on inverse le glissement ou la force électromotrice U_2 la perte d'énergie de U_2 ou de E_2 devient une différence de deux termes au lieu d'une somme et il peut y avoir transfert d'énergie du réseau au réseau dans un sens ou dans un autre par l'intermédiaire du moteur. Par exemple si, tout en conservant un facteur de glissement g positif ($\omega < \Omega$), on inverse la projection de U_2 en décalant (fig. 5) les balais au-dessus de F $\left(\alpha < \frac{\pi}{2}\right)$ la perte du rotor devient en valeur arithmétique

$$\frac{C(\Omega - \omega)}{p} - U_2 I_2 \cos \beta'$$

c'est-à-dire qu'il y a sortie par les balais du rotor d'une partie de l'énergie qui lui est fournie par le stator.

Au contraire si on conserve ω'_2 positif, $\left(\alpha > \frac{\pi}{2}\right)$ et qu'on fasse marcher le moteur au delà du synchronisme ($\omega > \Omega$), c'est le premier terme de la différence qui est négatif et le second positif, et c'est le rotor qui déverse de l'énergie dans le stator, ainsi qu'il est évident du reste *a priori*.

Flux et fuites magnétiques (fig. 8). — Jusqu'ici, dans tout ce qui précède, nous avons pour simplifier, supposé *même flux* résultant dans le stator et dans le rotor, mais cette façon élémentaire de considérer les choses ne saurait conduire à une théorie exacte du moteur car les fuites magnétiques doivent y jouer un rôle tout aussi important que dans les moteurs asynchrones ordinaires dans lesquels ce sont elles qui déterminent essentiellement le couple moteur maximum, le facteur de puissance, etc. Nous sommes donc conduit, avant d'aller plus loin, à examiner la façon dont se composent les flux ou plus exactement les forces magnétomotrices.

Pour simplifier le langage nous considérons des flux *fictifs* simplement proportionnels aux forces magnétomotrices, en attribuant d'emblée aux saturations des différentes parties du circuit les valeurs mêmes qu'elles auront pour le passage des flux résultants.

A cette condition seulement (jusqu'ici d'ailleurs toujours indiquée) nous avons le droit de traiter ces flux comme des forces magnétomotrices.

Les lignes du diagramme seront proportionnelles aux forces magnétomotrices et pourraient servir à les mesurer.

Cela posé, nous devons considérer dans la production des champs tournants du moteur les flux suivants :

1° Un flux fictif primaire Φ_1 que le courant du stator agissant seul tend à produire dans le rotor

$$\Phi_1 = \frac{2\pi K_1 N_1 I_1 \sqrt{2}}{p \mathcal{R}}$$

2° Un flux secondaire fictif Φ_2 que tend à produire dans le stator le flux total du rotor agissant seul

$$\Phi_2 = \frac{2\pi K_2 N_2 I_2 \sqrt{2}}{p \mathcal{R}}$$

Le flux résultant F dans l'entrefer qui est la résultante de Φ_1 et Φ_2,

Le flux résultant F_1 dans le stator.

Le flux résultant F_2 daus le rotor.

Le flux fictif Φ_2 du rotor est lui-même la résultante de deux autres flux, l'un F_2 dû à la force électromotrice U_2 injectée par les balais, l'autre F_g dû aux courants induits produits par la force électromotrice E_2 proportionnelle au glissement du rotor.

$$E_2 = \frac{(\Omega - \omega) k_2 N_2 F_2}{2\sqrt{2}}$$

Les relations entre ces différents flux exprimées en fonction des coefficients de fuite sont les suivantes. Appelons ν_1 et ν_2 les coefficients de fuite d'Hopkinson (c'est-à-dire les rapports des flux totaux, pertes comprises, aux flux utiles seuls, pertes déduites) pour les circuits des stator et rotor respectivement et si l'on pose pour abréger

$$\nu_1 - 1 = \tau_1$$
$$\nu_2 - 1 = \tau_2,$$

le flux résultant dans le stator est (fig. 8) la résultante du flux Φ_1 majoré des fuites, c'est-

à-dire de $\nu_1 \Phi_1$ représenté par le vecteur OB et du flux produit par le rotor Φ_2 représenté par le vecteur BC_1.

Inversement le flux résultant dans le rotor F_2 est la résultante de $\overline{OA} = \Phi_1$ avec $\overline{AC_2} = \nu_2 \Phi_2$. Si l'on trace $\overline{C_1D} = \tau_1 \Phi_1$ égal et parallèle à $\overline{AB}$, on voit que $\overline{DC_2} = \tau_2 \Phi_2 = \overline{C_1K}$. La droite $\overline{OD}$ est ainsi la résultante exacte de Φ_1 et Φ_2 et représente par conséquent le flux dans l'entrefer.

Le segment $\overline{C_1K'}$ peut être considéré comme la résultante de deux autres

$$\overline{C_1G} = \tau_2 . F_e$$
$$\overline{GK} = \tau_2 . F_g$$

respectivement proportionnels et parallèles à $\overline{C_1G}$ et $\overline{GB}$.

On remarquera que les vecteurs des flux F_1 et F_2 sont respectivement perpendiculaires $\left(\text{c'est-à-dire décalés de } \frac{\pi}{2}\right)$ par rapport aux vecteurs des forces électromotrices E_1 et E_2 du stator et du rotor, qui ne sont plus ici en opposition exacte comme nous l'avions supposé précédemment. Cette perpendicularité résulte simplement du fait que la force électromotrice E_2 due au glissement est induite par le flux F_2 et que la force électromotrice E_1 est induite par le flux F_1.

La valeur de cette dernière est

$$E_1 = \frac{\Omega k_1 N_1 F_1}{2\sqrt{2}}.$$

Le flux F_g que tendent à produire les courants de glissement en l'absence de toute réactance extérieure est parallèle à E_2 et par suite perpendiculaire à F_2.

Le flux F_e est parallèle à la force électromotrice injectée aux balais U_2 et fait le même angle α avec l'axe de la force électromotrice E_1.

Toutes les conditions de construction du diagramme des flux sont ainsi parfaitement déterminées.

Si l'on admet comme on le fait d'ordinaire, quitte à introduire plus tard une correction, que le flux primaire F_1 est constant (ce qui revient a supposer la force électromotrice du stator E_1 sensiblement égale à la différence de potentiel aux bornes qui est supposée constante), il est naturel de rapporter tout ce diagramme à la droite OC_1 comme axe fixe.

Il est facile de voir que, dans ces conditions, si l'on mène du point B une ligne BM parallèle à F_2, elle passe par un point fixe M situé sur la droite OC_1 ; car, en effet, les triangles semblables BC_1M et OC_1K donnent immédiatement

$$\frac{\overline{C_1M}}{\overline{OC_1}} = \frac{\overline{BC_1}}{\overline{C_1K}}$$
$$= \frac{\overline{BC_1}}{\overline{C_1K'} + \overline{K'K}} = \frac{\Phi_2}{F_2\Phi_2 + i_1(\nu_2\Phi_2)} = \frac{1}{\nu_1\nu_2 - 1}$$

Or, si l'on pose comme d'habitude pour le coefficient de dispersion

$$\sigma = 1 - \frac{1}{\nu_1 \nu_2},$$

on voit que

$$\overline{C_1M} = \overline{OC_1} \frac{1-\sigma}{\sigma}.$$

d'où

$$\overline{OM} = \frac{\overline{OC}\,1}{\sigma}.$$

Si l'on admet comme simplification théorique (d'ailleurs peu exacte en pratique) σ constant, on voit que la droite $\overline{BM}$ parallèle à F_2 qui fait avec $\overline{BG}$ un angle droit (puisque BG est parallèle à E_2) passe par un point fixe. D'autre part, le point G est lui-même fixe puisque le flux F_2 provenant du courant injecté est fixe quand on ne change ni le calage des balais ni la tension appliquée.

On en conclut immédiatement que le lieu géométrique du point B du diagramme est une circonférence décrite sur le segment fixe $\overline{GM}$.

Épure des courants statorique et rotorique et résumé des démonstrations précédentes. — L'épure précédente relative aux flux (ou aux forces magnétomotrices) se transforme par un simple changement d'échelle et de rotation en une épure relative aux courants qui produisent ces forces magnétomotrices. Si on remplace la valeur du vecteur $\nu_1\Phi_1$ par la valeur proportionnelle du courant du stator $I_1 = \frac{\overline{OB} \times \mathcal{R} p}{2\pi\nu_1 K_1 N_1 \sqrt{2}}$, le vecteur Φ_2 sera remplacé par le courant du rotor I_2 multiplié par un coefficient γ de transformation ou coefficient d'équivalence des ampères secondaires exprimés en ampères primaires pour la production du flux à travers le stator

$$\gamma = \frac{BC_1}{OB} \times \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \frac{K_2 N_2}{\nu_1 K_1 N_1}$$

A cette échelle, le flux F_1 est remplacé par le courant magnétisant nécessaire, pour le stator à vide, le flux F_e par le courant équivalent au courant constant que tend à produire dans le stator la tension aux balais U_2, c'est-à-dire le courant

$$\gamma \frac{U_2}{r_2}.$$

Le segment OM devient égal à $\frac{I_0}{\sigma}$. Le vecteur BM reste proportionnel à OK (fig. 8), c'est-à-dire au flux résultant du rotor F_2 multiplié par ν_1 et le rapport de réduction est le même que pour Φ_1.

Donc,

$$\overline{BM} = \frac{F_2 \mathcal{R} p}{2\pi K_1 N_1 \sqrt{2}}$$

Le vecteur $\overline{BG}$ représente le courant équivalent au courant induit pour la force électromotrice E_2 seule, c'est-à-dire

$$\overline{BG} = \gamma \frac{E_2}{r_2}$$

L'angle $\beta = BMG$ mesure le décalage du flux F_2 par rapport au flux F_1. L'angle α donne une mesure de l'angle de calage des balais défini plus haut et l'angle φ indique le décalage du courant du stator par rapport à la force électromotrice du réseau U_1.

Le rapport $\frac{BG}{BM}$ peut servir enfin à mesurer le glissement, en vertu de l'expression E_2; car

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\overline{BG}}{\overline{BM}} = \frac{K_2 N_2 (\Omega - \omega) F_2}{2\sqrt{2}\, r_2} \cdot \frac{2\pi\nu_1 K_1 N_1 \sqrt{2}}{\mathcal{R} F_2 p}$$

ou

$$\frac{\overline{BG}}{\overline{BM}} = \frac{\pi k_2 N_2 K_1 N_1}{r_2 p \mathfrak{R}} (\Omega - \omega)$$

$$= \frac{\pi_1 k_2 N_2 K_1 N_1 \Omega}{p \mathfrak{R}} g;$$

ce qu'on peut écrire aussi

$$= \frac{\Omega \lambda_2}{\nu_2 r_2} g$$

en se rappelant que la réactance totale du rotor λ_2 a pour valeur

$$\lambda_2 = \frac{\nu_2 \pi k_2 K_2 N_2}{p \mathfrak{R}}.$$

D'où l'expression du glissement

$$g = \frac{\Omega - \omega}{\Omega} = \frac{\nu_2 r_2}{\Omega \lambda_2} \frac{\overline{BG}}{\overline{GM}} = \frac{\nu_2 r_2}{\Omega \lambda_2} \operatorname{tg} \beta$$

Nous arrivons ainsi aux conclusions suivantes très importantes qui serviront de résumé

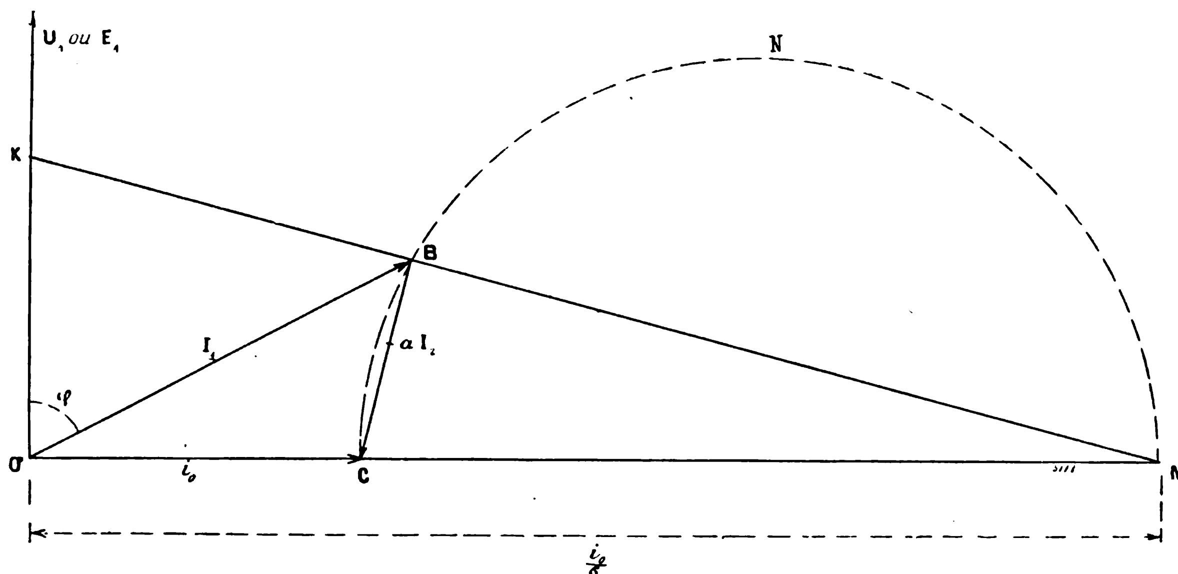


Fig. 9. — Épure circulaire ordinaire.

de tout ce qui précède et pourront dispenser même les lecteurs pressés de lire la démonstration entière.

Le fonctionnement du stator et du rotor d'un moteur Gœrges peut être représenté par une épure circulaire analogue à celle bien connue (¹) *de Behrend-Blondel-Heyland pour les moteurs*

(¹) On me permettra de rappeler, à ce propos, que j'ai donné il y a plusieurs années la première épure graphique rigoureuse des flux, courants et forces électromotrices des moteurs asynchrones en fonction des coefficients de fuite de Hopkinson et des coefficients K et *k*. (*Éclairage Électrique*, 24 août 1894, p. 364, et 19 octobre 1895, p. 100 et 254.) Cette épure, tenant compte de la résistance du stator, conduisait à une courbe représentative elliptique.

La propriété indiquée sans démonstration par Heyland dans une lettre à l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, de 1895, qu'en négligeant la résistance du stator, le lieu bipolaire de l'extrémité du triangle de I_1 et I_2 est un cercle, a été démontrée, au moyen du diagramme des flux, par Bernard Behrend dans l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, du 30 janvier 1896, p. 63, où se trouve aussi indiquée pour la première fois la représentation du travail et du couple moteur.

****

asynchrones à induit fermé et qui en diffère seulement par la longueur et la position du diamètre du cercle, toutes les autres conditions restant les mêmes.

On se rappelle en quoi consiste l'épure circulaire ordinaire (fig. 9), sous sa forme la plus simple, c'est-à-dire en supposant négligeable la résistance du stator devant sa réactance, et par suite en admettant constant le flux tournant du stator : si l'on porte sur un axe horizontal OM une longueur OC égale au courant magnétisant i_0, et une longueur $OM = \frac{i_0}{\sigma}$ en appelant σ le coefficient de dispersion magnétique du moteur, et qu'on décrive sur CM comme diamètre un cercle, tout point B de ce cercle représente un

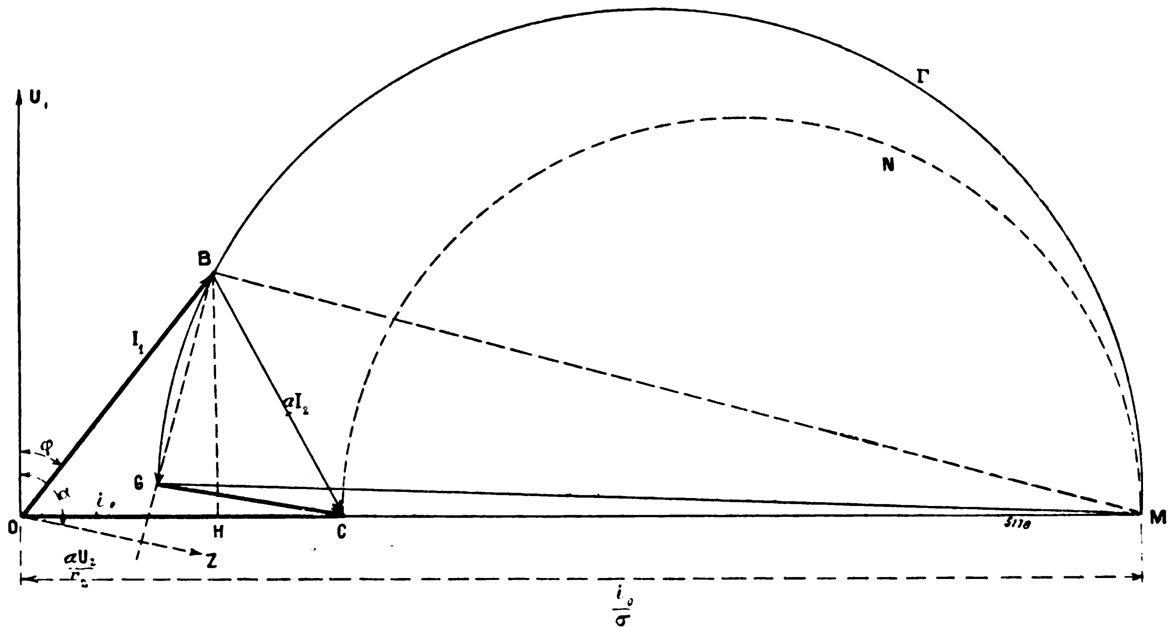


Fig. 10. — Épure du fonctionnement du moteur Gœrges.
Diagrammes des courants I_1 et I_2.

régime du moteur, à savoir : le vecteur OB représente en grandeur et phase le courant primaire ou du stator, le vecteur BC en grandeur et phase le courant secondaire ou du rotor, divisé par le coefficient de transformation a (rapport des spires équivalentes du stator aux spires équivalentes du rotor) ; la droite OU_1 perpendiculaire à OC indique en phase la force électromotrice appliquée au stator, l'angle φ le décalage du courant : la hauteur BH est proportionnelle au couple moteur, et enfin le segment OK intercepté sur OE par la droite MB est proportionnel au glissement.

L'épure analogue pour le cas du moteur Gœrges (fig. 10) dépend en outre du décalage des balais, c'est-à-dire de l'angle α dont on les a déplacés à partir de la coïncidence des champs (en supposant cet angle rapporté à un moteur bipolaire), de la tension constante U_2 appliquée aux balais du rotor et de la résistance ohmique de celui-ci entre balais. La composante du courant injectée dans le rotor par les balais équivaut simplement à un courant

Quant à la représentation du glissement par une échelle linéaire, elle a été indiquée pour la première fois dans mon article de l'*Industrie Électrique*, 25 février 1896, ainsi qu'un procédé de correction due à la résistance négligée.

M. Heyland a indiqué plus récemment une correction graphique fort élégante, mais qui paraît peu rigoureuse, comme je le montrerai prochainement.

magnétisant supplémentaire

$$OZ = \frac{aU_2}{r_2}$$

représenté avec le décalage α par rapport à U_1 et qui se retranche du courant magnétisant OC que produit le stator seul. Il suffit donc de porter ce vecteur en sens inverse à partir du point C, suivant CG, et de tracer GM. Le cercle N du moteur à spires fermées est remplacé par un cercle décrit sur GM comme diamètre. Pour chaque position et longueur différentes du vecteur CG représentant l'excitation supplémentaire, on devra construire spécialement un cercle de ce genre, qui constitue le lieu géométrique des régimes que peut donner le moteur *avec cette excitation*. Les propriétés du diagramme se conservent comme il suit par rapport à ces cercles : en joignant un point régime quelconque B pris sur le cercle Γ aux points O et C, on obtient en grandeurs et phases les vecteurs OB et OC des courants statorique et rotorique. Le couple est toujours proportionnel au courant watté BH, multiplié par la tension fixe statorique [1]. Au contraire, l'échelle des glissements est modifiée et déplacée, et il est plus simple de prendre pour mesure du glissement $\left(\text{à un facteur près } \frac{\Omega\lambda_2}{v_2 r_2}\right)$ le rapport des distances BG et BM du point régime aux deux extrémités du diamètre G et M du cercle considéré M. Suivant que B est au-dessus ou au-dessous de G, le glissement est positif (marche au-dessous du synchronisme) ou négatif (marche au-dessus du synchronisme).

Telle est l'épure fondamentale des moteurs Gœrges, instrument d'analyse qui va nous permettre, d'un simple coup d'œil, de comprendre les premières propriétés de ces machines et de voir comment s'y ramènent les moteurs Heyland ou autres, ayant les mêmes dispositions de construction.

(*A suivre.*)

A. Blondel.

RECHERCHES

SUR L'EMPLOI DES DIAPHRAGMES MÉTALLIQUES DANS L'ÉLECTROLYSE

Une lame de platine placée entre les électrodes d'un voltamètre à cuivre permet de constater que dans certaines conditions il se dépose en son centre, du côté tourné vers l'anode, un cercle de cuivre, tandis qu'un dégagement d'oxygène se produit en face de la cathode [2].

[1] En vertu de l'expression générale donnée tout à l'heure, en négligeant les pertes constantes du stator et la perte ohmique (quitte à faire ultérieurement une correction).

$$C = \frac{q_1 E_1 I_1 \cos\varphi}{\frac{\Omega}{p}}$$

[2] Kauffmann et Loeb, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. II, p. 341 ; Brochet et Barillet, *Ecl. Elect.*, t. XXXIII, p. 350 ; *Bulletin de la Société Chimique*, 3e série, t. XXIX, p. 73.

La lame de platine se comporte donc comme une *électrode bipolaire*. Si on remplace le platine par du cuivre, la lame, à la question d'importance près, agit de la même façon, en ce sens que ses bords ne prendront pas part à l'électrolyse, ce qui permet d'admettre, bien que le cuivre fonctionne comme anode soluble, la présence d'une force contre-électromotrice de polarisation [1].

Considérons une lame de platine placée dans un voltamètre à cuivre dans des conditions telles qu'elle agisse comme bipolaire, nous aurons deux façons d'empêcher le dépôt et par conséquent de l'empêcher de fonctionner comme bipolaire. La première sera de diminuer la densité de courant, la seconde de sectionner la lame de telle façon qu'elle oppose une résistance plus faible aux lignes de courant qui la contourneront ainsi avec plus de facilité; une variante de ce procédé consistera à employer une lame perforée.

Nous aurons alors constitué un diaphragme métallique, lequel se comportera comme un diaphragme ordinaire en faïence, c'est-à-dire qu'il laissera passer les solutions et le courant, mais, au cas naturellement où les trous seront assez fins, il s'opposera au passage des gaz et des précipités.

Emploi des diaphragmes métalliques et théories admises. — Les diaphragmes métalliques sont employés industriellement, notamment dans l'appareil Garuti pour la fabrication de l'oxygène et de l'hydrogène par électrolyse d'une solution alcaline et dans l'appareil Castner pour la fabrication du sodium par électrolyse de la soude fondue. Dans le premier on emploie une tôle perforée, dans le second une toile de fer.

Au sujet de l'appareil de Garuti, Buffa [2] donne la théorie suivante : la lame perforée se comporte comme diaphragme lorsque la tension aux bornes est inférieure au double de la tension de décomposition de l'électrolyte.

Cette théorie n'est exacte que dans un cas, lorsque la lame métallique forme cloison étanche et divise complètement l'appareil en deux compartiments n'ayant aucune communication par l'électrolyte. Si la tension aux bornes est supérieure à la somme des deux tensions de décomposition de l'électrolyte par rapport aux deux substances employées (ces deux tensions étant égales au cas où la substance intermédiaire est formée de la même substance que les électrodes), la lame agira comme électrode bipolaire parfaite et ses deux cotés contribueront par toute leur surface à l'électrolyse.

Si au contraire la tension aux bornes est inférieure à la somme des tensions de décomposition aucun courant susceptible de produire une action chimique ne passera dans l'appareil. On ne peut donc dire que la lame agira comme diaphragme, d'autant plus qu'elle forme cloison étanche.

Si on suppose cette lame perforée, le courant pourra alors passer et la lame pourra agir comme diaphragme. On constatera alors que la tension aux bornes nécessaire pour que la lame joue le rôle d'électrode bipolaire est plus élevée, et, plus la surface des trous sera grande par rapport à la surface totale, plus cette tension sera considérable. En effet si nous prenons une toile de platine et si nous la mettons entre les électrodes d'un voltamètre à cuivre, il sera impossible, sauf peut-être dans des conditions tout à fait spéciales de la faire agir comme électrode bipolaire.

Bien mieux, si au lieu de platine nous employons le cuivre comme lame intermédiaire,

---

[1] Brochet et Barillet, *Ecl. Elect.*, t. XXXIV, p. 111; *Bulletin de la Société Chimique. Loc. cit.*

[2] Buffa, *Bulletin de l'Association Montefiore*, t. II, p. 305.

on constatera le même fait bien que le cuivre fonctionne comme anode soluble et une toile de ce métal pourra agir comme diaphragme dans un voltamètre à sulfate de cuivre.

Ces faits sont donc en contradiction avec la théorie de Buffa.

Danneel (1) propose d'utiliser comme diaphragme dans le raffinage du zinc par voie aqueuse deux lames de plomb perforées dont l'intervalle est rempli de grenaille de plomb, en se basant sur ce fait que la tension entre deux points de l'appareil étant toujours inférieure à deux volts le plomb ne pourra agir comme accumulateur.

Emploi d'une lame de platine d'épaisseur pratiquement nulle. — Kauffmann (2) a établi les conditions de fonctionnement d'une électrode bipolaire formée d'une sphère placée dans un champ électrolytique. Il considérait comme facteurs : la conductibilité du liquide et du métal de la bipolaire, le rayon de la sphère, etc.

Dans le cas d'une lame le problème devient plus compliqué, nous aurons à tenir compte de la résistivité du liquide et du métal de la bipolaire, de l'épaisseur de celle-ci, de sa distance aux électrodes, etc., tous facteurs dont l'importance diminuera et pourra même devenir nulle, en supposant l'épaisseur de l'électrode bipolaire pratiquement nulle. Seuls auront alors de la valeur, d'une part, le rapport entre la surface métallique de la lame et la surface des perforations, d'autre part, la distance entre les trous supposés régulièrement placés.

Dans ces conditions, si on considère sur le côté anode et sur le côté cathode deux points en regard, et, si la différence de potentiel entre ces deux points est inférieure à la tension de décomposition, la lame se comportera comme diaphragme ; si au contraire la différence de potentiel est supérieure à la tension de décomposition, les lignes de courant traverseront la lame qui agira alors comme bipolaire.

Nous aurons donc à tenir compte de la distance entre ces deux points, c'est-à-dire du double de leur éloignement à la prochaine ouverture. La surface des trous n'intervenant qu'en ce sens que chaque ouverture doit être assez fine pour empêcher la diffusion des gaz et la surface totale assez grande pour que la densité de courant y soit suffisamment faible afin de ne pas opposer une résistance trop considérable aux lignes de courant, ce qui aurait pour résultat de faciliter leur passage au travers de la lame intermédiaire qui agirait alors comme bipolaire.

Dispositif expérimental. — L'appareil dont je me sers pour étudier les diaphragmes métalliques se compose de cadres en ébonite en forme de **U** présentant à leur partie interne une largeur et une hauteur de 9 cm, l'épaisseur des cadres est de 1,6 cm. La lame à étudier est placée entre deux cadres ; extérieurement se trouvent deux lames épaisses fermant l'appareil et servant d'électrodes. Le serrage est obtenu au moyen de boulons passant dans des trous ménagés à cet effet dans les cadres et les plaques et l'étanchéité au moyen de feuilles de caoutchouc également en forme de **U**.

La distance entre les électrodes est de 3,7 cm, la surface utile est de $9 \times 7,5$ soit 67,5 cm². La densité de courant est ainsi très régulière. La lame de platine employée de 0,01 cm d'épaisseur se trouvait placée au milieu de la distance des électrodes. Après chaque essai, l'appareil est rincé, démonté, le diamètre des cercles équipotentiels mesuré et après nettoyage de la lame l'appareil remonté pour un nouvel essai. Le dispositif beaucoup plus

(1) Danneel, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. IX, p. 256.

(2) Kauffmann, *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. III, p. 237.

simple consistant à glisser la lame dans une rainure ne peut être employé, la dérivation par le liquide, quelque faible qu'elle soit, faussant toujours les résultats.

INFLUENCE DE LA DENSITÉ DE COURANT AUX ÉLECTRODES, DE LA SURFACE ET DE LA FORME DES TROUS. — La lame de platine dont les bords forment joint étanche étant percée d'un trou en son centre, on constate après le passage du courant, comme je l'ai dit, que la surface de l'intercathode est recouverte presque entièrement de cuivre. Autour du trou se trouve un cercle sans dépôt et ce dernier est limité par une ligne très nette. Si nous faisons alors varier l'intensité du courant, nous verrons le diamètre des cercles augmenter ou diminuer en sens inverse de la densité de courant. La ligne limitant le dépôt sera d'autant plus nette que le rayon du cercle sera plus petit, au fur et à mesure qu'il augmentera la ligne deviendra de plus en plus floue, puis le dépôt très léger se fera seulement par place et il ne sera pas possible de saisir à partir de quel moment la lame agira complètement comme diaphragme.

A chaque densité de courant correspond donc une ligne équipotentielle déterminée, à l'intérieur de cette ligne la lame agira comme diaphragme, à l'extérieur comme bipolaire. Lorsque la lame agira entièrement comme diaphragme le courant passera entièrement par le trou. La surface de celui-ci doit donc avoir une grande influence. Cela est d'ailleurs facile à vérifier au moyen de trous de diamètre différent. Quant à la forme des trous elle n'influe sur la forme de la ligne équipotentielle que lorsque celle-ci est dans le voisinage immédiat du trou, mais elle n'a rapidement plus d'action. Le dépôt de cuivre, et cela se conçoit aisément, n'est pas régulier, son épaisseur augmente constamment au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la ligne de séparation en même temps que s'élève la différence de potentiel entre le point considéré et la ligne équipotentielle. On se rend facilement compte de l'irrégularité du dépôt en lavant la lame à l'acide azotique.

Si la lame présente un certain nombre de trous, chacun d'eux se comportera de la même façon et à chacun d'eux correspondra un cercle équipotentiel de rayon déterminé que l'on pourra faire varier comme il vient d'être dit. Si ces cercles se coupent il restera des îlots agissant comme électrodes bipolaires ; s'ils empiètent complètement les uns sur les autres, la lame agira comme diaphragme. Naturellement les cercles se réuniront d'après les règles connues du raccordement des lignes équipotentielles.

INFLUENCE DE LA RÉSISTIVITÉ DE L'ÉLECTROLYTE. — Ce facteur agit comme la densité de courant et permet de faire varier la surface non recouverte de cuivre. Si on diminue la conductivité de l'électrolyte, le rayon diminuera, la lame se comportera de plus en plus comme bipolaire et de moins en moins comme diaphragme.

Le tableau ci-joint permet de se rendre compte de l'ensemble de ces remarques. La lame employée de 0,01 cm d'épaisseur présentait en son centre un trou rond de 0,4 cm de diamètre et placés symétriquement à 3,1 cm se trouvaient trois trous ronds de 0,05, 0,1, et 0,2 cm de diamètre et un trou carré de 0,4 cm de côté. Avec ce dernier, toujours en des cercles, seul le plus petit était légèrement déformé. Ces essais furent faits avec une solution de sulfate de cuivre à 150 gr par litre, additionné (Colonnes B) ou non (Colonnes A) de 50 gr d'acide sulfurique.

La dernière ligne du tableau correspond aux essais faits avec une lame n'ayant qu'un trou de 0,4 cm de diamètre.

La ligne équipotentielle de séparation, beaucoup plus nette dans les cercles de petit rayon, l'est également lorsque l'électrolyte ne renferme pas d'acide sulfurique.

DIAMÈTRE DES TROUS	0,1 AMPÈRE		0,2 AMPÈRE		0,5 AMPÈRE		1 AMPÈRE		0,5 AMPÈRE	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
0,05 cm			6		—	7	2,5	3	2	2
0,1 »			11		6	13	5	6	4	4,5
0,2 »			15		8	19	7	9	5,5	6,5
0,4 »			24		13,5	29	10,5	13,5	9	11
0,4 »			26		15	35	13	16	11	13
0,4 cm	30	∞	20	31	12,5	19	9,5	13	9	10

Influence de la tension de décomposition. — J'ai indiqué que lorsque la tension de décomposition est théoriquement nulle, comme dans le cas du cuivre dans le voltamètre à sulfate de cuivre, ce métal peut agir comme diaphragme. Si nous considérons un métal agissant comme anode insoluble, tel le platine, l'action sera beaucoup plus nette, mais elle le sera bien davantage si au lieu d'un sel dont la tension de décomposition est faible, comme la sulfate de cuivre, nous avons recours à un sel dont la tension de décomposition est élevée.

Dans le cas de l'électrolyse du sulfate de cuivre, la décomposition de ce sel ne donne lieu qu'à une seule réaction, nous aurons ainsi simplement deux cercles équipotentiels, un relatif à l'interanode limitant le dégagement d'oxygène et un relatif à la l'intercathode limitant le dépôt de cuivre. Mais si l'électrolyte et le métal peuvent donner naissance à plusieurs réactions correspondant à des tensions de décomposition différentes, nous aurons ainsi une série de zones correspondant aux réactions différentes, limitées par des cercles très nets. On aura ainsi un moyen de caractériser qualitativement et, peut-être quantitativement les différentes réactions susceptibles de se produire dans une électrolyse. Je reviendrai sur ce sujet actuellement à l'étude.

Influence du mode de perforation du diaphragme. — Le problème général très complexe, simplifié en admettant une lame intermédiaire d'épaisseur pratiquement nulle, redevient compliqué si l'on suppose irrégulière la position des trous dans la lame. En effet, deux lames présentant le même rapport entre la surface des perforations et du métal, se comporteront différemment suivant le nombre et la position des trous. Si nous prenons les conditions extrêmes, nous verrons qu'une lame perforée d'une multitude de petits trous agira très bien comme diaphragme, tandis qu'une lame pleine, présentant autour un espace libre de même surface que les perforations de la lame précédente, se comportera comme électrode bipolaire et dans le cas de l'électrolyse du sulfate de cuivre donnera une tache de cuivre au centre du côté intercathode.

Cas d'une lame épaisse. Expériences de M. Danneel. — Dans les discussions précédentes, j'ai supposé une lame dont l'épaisseur était pratiquement nulle. La chute de potentiel entre deux points placés dans le liquide à une distance correspondant à l'épaisseur de la lame sera également insignifiante. Si maintenant nous considérons une plaque intermédiaire d'épaisseur assez grande, la chute de potentiel entre deux points placés dans l'électrolyte à une distance égale à celle de l'épaisseur de la lame pourra ne plus être négligeable. Il faudra de plus tenir compte de la résistivité du métal de la plaque et de celle de l'élec-

trolyte. Or la résistivité du métal étant considérablement plus faible, les lignes de courant auront tendance à le traverser de préférence. Si donc nous prenons une lame agissant partiellement comme diaphragme et partiellement comme bipolaire et que par un artifice quelconque nous augmentions peu à peu l'épaisseur, nous verrons peu à peu les cercles équipotentiels se rétrécir et la partie électrode bipolaire empiéter peu à peu sur la partie diaphragme.

Si nous prenons deux points placés de part et d'autre de la plaque, nous n'aurons plus seulement à considérer le double de leur éloignement à la prochaine ouverture, il faudra y ajouter l'épaisseur de la couche liquide correspondant à la plaque, avec cette restriction qu'il faudra tenir compte de la résistivité plus faible du métal.

C'est dans ces conditions seulement, et, à la limite que la théorie de Buffa est exacte. Nous pourrons alors supposer notre cuve électrolytique coupée en deux par le diaphragme de forte épaisseur (c'est précisément le cas des expériences de Danneel); elle se comportera alors comme deux cuves indépendantes montées en tension et réunies par plusieurs tubes métalliques, servant de conducteurs à la fois au courant et à l'électrolyte.

Si nous nous plaçons dans des conditions telles que la totalité du courant passe par le liquide, nous aurons dans ce cas un diaphragme, mais on conçoit combien les conditions sont plus difficiles à réaliser dans le cas d'une forte épaisseur et combien seront restreints les emplois de tels diaphragmes qui ne pourront s'appliquer qu'à des cuves fonctionnant à basse tension et seront en outre d'un montage plus difficile. Au contraire les diaphragmes de faible épaisseur paraissent avoir des applications importantes et semblent vouloir fonctionner dans beaucoup de cas.

Quant au double diaphragme proposé par Danneel pour éviter les piles de neutralisation, il rentre dans le cas des diaphragmes de faible épaisseur, si les deux lames sont isolées l'une de l'autre, naturellement; chacune d'elles se comporte comme si elle était seule et n'a d'autre effet que d'augmenter de sa part propre la résistance ohmique du bain.

Conditions de bon fonctionnement d'un diaphragme métallique. — A côté de la condition essentielle que la substance du diaphragme soit complètement inattaquable par l'électrolyte avant ou après l'électrolyse, et, étant donné, d'autre part qu'elle se comportera d'autant mieux comme diaphragme que la tension de décomposition de l'électrolyte sera plus élevée et qu'elle aura moins de tendance à agir comme anode prenant part à la réaction, le bon fonctionnement d'un diaphragme sera réglé par les conditions suivantes :

1° Faible diamètre des perforations;

2° Rapport élevé entre la surface des perforations et celle du métal, c'est-à-dire perforations aussi nombreuses que possible;

3° Faible épaisseur de la lame ;

4° Bonne conductivité de l'électrolyte.

Enfin il y aura lieu de tenir compte accessoirement de la résistivité du métal au cas où le diaphragme sera de forte épaisseur. Mais ce facteur qui a son importance au sujet du fonctionnement du diaphragme, n'en a pas beaucoup au sujet du choix de la substance, celle-ci étant très limitée par la question économique et par sa façon d'agir vis-à-vis de l'électrolyte.

André Brochet.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

PILES

Élément double de pile galvanique, par **H. Bley**. *Der Mechaniker*. Berlin, t. XI, nº 6, p. 66-67, 1903.

Cet élément de pile (Brevet allemand 138 207) comporte 2 paires d'électrodes disposées suivant la série de Volta, telles que par exemple : zinc-cuivre, plomb-carbone, en vue d'engendrer une force électromotrice plus élevée avec des dépenses de matière et d'espace relativement petites. Ces deux couples sont formés en disposant un cylindre de plomb fermé par le bas, à côté d'une électrode de zinc, au sein d'une solution de sulfate de cuivre, mettant en liberté du cuivre métallique, aussitôt que le circuit est fermé. C'est ce cuivre qui sert d'électrode au second couple. Comme ce métal se dépose immédiatement sur le plomb, ce dernier étant métalliquement relié au cuivre, les tensions carbone-plomb et cuivre-zinc s'ajoutent. En fermant le circuit allant du plomb au zinc, l'on obtient la tension cuivre-zinc, le plomb n'étant que le support du dépôt de cuivre libéré. Lorsque, au contraire, on ferme le circuit reliant le carbone au plomb, on réalise la tension correspondant à ce couple, et, en fermant le circuit carbone-zinc, on ajoute à la tension carbone-plomb celle du couple cuivre-zinc, sans que la communication entre le plomb et le cuivre donne lieu à une diminution de la tension.

On emploie comme électrolyte, soit une solution de sel ammoniac — et dans ce cas on remplit le cylindre en charbon de morceaux de peroxyde de manganèse ou d'un autre dépolarisant, — soit d'une solution d'acide sulfurique, auquel cas on se passe d'un dépolarisant.

Au lieu des métaux précités, on peut évidemment utiliser des couples quelconques rangés suivant la série de Volta et donnant des tensions convenables. A. GRADENWITZ.

DIÉLECTRIQUES

Variation du pouvoir inducteur d'un liquide avec la température, par **K. Tangl**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 748-767, avril 1903.

L'auteur a mesuré par la méthode de Nernst le pouvoir inducteur de divers liquides : benzène, toluène, xylène, sulfure de carbone, chloroforme, entre 20° et 180°, éther éthylique, de 20° jusqu'à la température critique.

Le pouvoir inducteur diminue quand la température s'élève : pour le benzène, le toluène et le xylène, la variation est représentée par une droite. Pour le sulfure de carbone, la courbe accuse nettement une concavité vers l'axe des températures. La variation est beaucoup plus forte dans le cas de l'éther et du chloroforme. La courbe présente un point d'inflexion (à 150° pour l'éther, à 180° pour le chloroforme) et au delà duquel elle est concave vers l'axe des températures. Aux approches de la température critique, le pouvoir inducteur de l'éther décroît rapidement, et cette diminution paraît se poursuivre au delà de cette température. La fonction de Clausius-Mossoti $\frac{D-1}{D+2}\,v$ ne reste constante que pour le xylène.

Le pouvoir inducteur de l'éther à la température critique surpasse notablement le carré de l'indice de réfraction pour les ondes de longueur infinie, calculé d'après la formule de Cauchy. M. L.

DÉCHARGE ÉLECTRIQUE

Répartition du potentiel dans la région cathodique obscure, par **A. Wehnelt**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 542-581, mars 1903.

I. CATHODE LIBRE. — Par cathode libre il faut entendre une cathode qui est à une distance des parois du récipient suffisante pour que celles-ci n'exercent aucune influence sur la répartition du courant. On réalise cette condition en prenant une cathode de petites dimensions, boule ou disque de 1 cm de diamètre, disposée dans un récipient de grande capacité. Dans le cas de la cathode sphérique, il est évident que les surfaces équipotentielles qui l'entourent sont des sphères qui lui sont concentriques [1].

[1] A. *Cathode sphérique*. — Le récipient de verre renferme une sonde fixe S (fig. 1), une cathode K dont la distance à cette sonde est variable et peut être déter-

Intensité constante et pression variable. — Le potentiel ne représente aucun maximum ou minimum : c'est au voisinage de la cathode que sa variation est la plus rapide. Quand on diminue la pression, le potentiel augmente en tous les points de la région obscure à peu près dans la même proportion. Aussi les courbes représentant le gradient ont à peu près la même allure à toutes les pressions.

La méthode ne permet pas de mesurer le potentiel jusqu'au voisinage immédiat de la cathode et de vérifier s'il s'y produit une chute brusque.

Intensité variable et pression constante. — Les courbes du potentiel (potentiel porté en ordonnées, distances à la cathode en abscisses) ont une pente d'autant plus rapide que l'intensité est plus grande.

Les surfaces équipotentielles se resserrent donc de plus en plus : en même temps l'épaisseur de la région obscure diminue quelque peu. Pas plus que dans le cas précédent, on n'observe de variation brusque du potentiel à la limite de la région obscure [1].

Suivant les directions normales à la cathode, le potentiel croît d'autant plus rapidement que la pression est plus petite. Il ne se produit aucune variation brusque à la limite de la région obscure et des lueurs, quoique cette limite soit très nette.

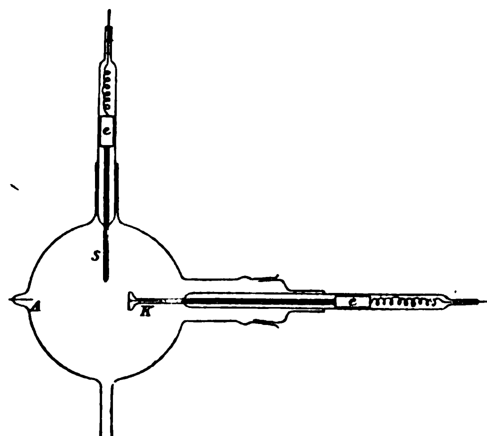
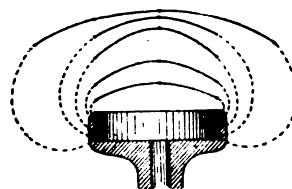


Fig. 2.

Les surfaces équipotentielles ne sont en aucune façon des plans parallèles à la cathode, mais se recourbent vers les bords de celle-ci (fig. 3). Il est impossible d'ailleurs de déterminer exactement cette forme auprès de la cathode (portions pointillées), en raison des dimensions trop grandes des sondes.


Fig. 3.

La répartition des potentiels n'est guère modifiée par un accroissement d'intensité, la pression restant constante : mais la pente des courbes devient plus rapide.

II. Cathode non libre. — La cathode n'est pas libre lorsque ses bords sont très voisins des parois du récipient, qui interviennent alors dans les phénomènes.

La cathode K (fig. 4) occupe toute la section du tube (long de 100 cm ; diamètre, 6 cm) : elle se déplace à l'aide d'un aimant ainsi que la sonde S_1. Dans quelques expériences, une

---

minée à 0,01 cm près. Le récipient a 15 cm de diamètre et 30 cm de longueur. L'anode est un long fil d'aluminium parallèle à la direction suivant laquelle se déplace

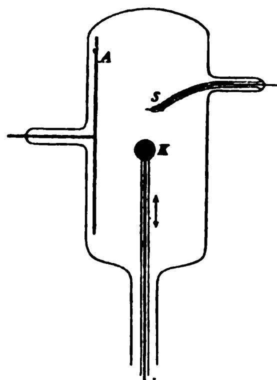


Fig. 1.

la cathode : de cette manière, le déplacement n'entraîne aucune variation de la différence de potentiel de décharge.

On mesure la différence de potentiel entre la cathode et la sonde au moyen d'un électromètre à quadrants.

[1] B. *Cathode plane*. — La cathode K (fig. 2) se déplace perpendiculairement à son plan à l'aide d'un aimant : la sonde S se déplace dans la direction normale, grâce au même dispositif : le récipient est un ballon de 12 cm de diamètre.

deuxième sonde S_2, diamétralement opposée à S_1 pénètre jusqu'à l'axe du tube. Les électromètres de Braun E_1, E_2, E_3, permettent de mesurer les différences de potentiel entre la sonde S_1 et la cathode, entre les deux sondes S_1 et S_2

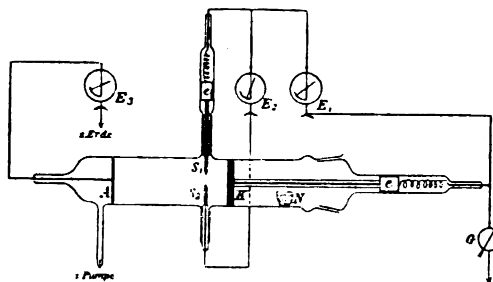


Fig. 4.

et entre l'anode A et la cathode ; cette dernière est la différence de potentiel de décharge (N est une nacelle contenant de l'anhydride phosphorique).

La différence de potentiel de la décharge est maintenue constante par un réglage convenable de la pression.

1. *La chute de potentiel à la cathode est normale.* — La chute de potentiel à la cathode est normale quand la cathode n'est pas recouverte par la décharge sur toute sa surface.

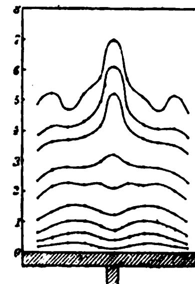
Les surfaces équipotentielles sont alors des plans perpendiculaires à l'axe. Quand on se déplace le long de l'axe, le potentiel croît rapidement au voisinage de la cathode, puis de plus en plus lentement.

Il n'y a aucune chute brusque à la limite de la région obscure.

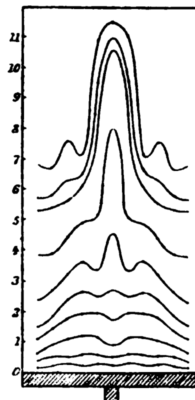
2. *La chute de potentiel à la cathode est anormale.* — C'est ce qui se produit lorsque presque toute la surface de la cathode est recouverte par la décharge. Les surfaces équipotentielles sont encore des plans normaux à l'axe, parallèles par conséquent à la surface de la cathode.

3. *La pression est très basse et le faisceau de rayons cathodiques très étroit.* — Dans ces conditions, les surfaces équipotentielles ne sont plus des plans perpendiculaires à l'axe, car entre les divers points d'un tel plan on trouve des différences de potentiel très appréciables.

La figure 5 et la figure 6 montrent la section des surfaces équipotentielles par un plan passant par l'axe du tube. Dans les deux cas, l'intensité du courant est 0,36 ampère : la pression est de 0,07 (fig. 5) ou de 0,05 (fig. 6) : la différence de potentiel 3 500 et 6 000 volts ; la longueur de la région obscure 7,3 et 11,5 cm.


Fig. 5.

4. *Déformation des surfaces équipotentielles par le champ magnétique.* — Sous l'action d'un champ magnétique, les surfaces équipotentielles se déforment et s'inclinent sur l'axe du tube.


Fig. 6.

5. *Détermination du gradient du potentiel au moyen de deux sondes.* — Cette méthode employée par Graham [1], l'avait conduit à admettre l'existence de maxima et de minima de potentiel à l'intérieur de la région obscure.

Ce résultat est dû à une erreur d'expérience : il tient à ce que les deux sondes ne se trouvaient pas exactement l'une derrière l'autre. Cette condition était d'ailleurs difficile à réaliser dans l'appareil de Graham, à cause de la grande longueur des sondes.

6. *Potentiel et dégagement de chaleur à la limite de la région obscure.* — La limite de la

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 38, avril 1898.

région obscure ne correspond à aucune variation brusque du potentiel ni du gradient. La température ne subit non plus aucune variation brusque en cette région.

III. Conclusions. — Si l'on veut représenter le potentiel en fonction de la distance x à la cathode par la formule de Schuster.

$$V_x = V_0 (1 - e^{-kx})$$

V_0 étant la chute de potentiel à la cathode, on trouve que k n'est pas une constante, mais oscille entre des valeurs grandes et petites, sans loi régulière.

Si on calcule la densité ρ de l'électricité libre dans la région obscure, en faisant usage de l'équation de Poisson, ρ n'a pas le même signe en tous les points.

Au voisinage immédiat de la cathode et vers la limite de la région obscure, il se trouve surtout de l'électricité positive. Entre ces deux régions positives se trouve un grand espace renfermant de l'électricité négative. On peut se rendre compte de cette distribution en supposant que la cathode est entourée de couches sphériques concentriques de signes différents. La somme algébrique de toutes ces charges est toujours positive. Cette somme augmente quand l'intensité de la décharge augmente et diminue avec la pression du gaz.

A l'aide des données expérimentales, il est aisé de calculer la quantité d'électricité induite sur la cathode par l'électricité libre qui se trouve dans la région obscure. Cette charge induite est négative.

Quand la cathode est plane et occupe toute la section du tube, le calcul est plus compliqué. Mais d'après les mesures, il est vraisemblable que les charges libres dans la région obscure sont aussi dans ce cas alternativement de signes contraires.

Forme générale des surfaces équipotentielles. — Dans un tube, au voisinage de la cathode, il y a de grandes différences de potentiel entre l'axe et les parois. Cependant, les surfaces de niveau sont faiblement convexes, à cause de la grande valeur du gradient dans ces régions.

Ces surfaces se creusent légèrement dans le voisinage de l'axe par suite de la présence de la sonde ; dans les parties éloignées de la cathode, la sonde ne provoque plus de déformation appréciable. Quand on s'éloigne de la cathode, les surfaces de niveau présentent sur l'axe une saillie de plus en plus prononcée et, de part et d'autre de l'axe, deux saillies plus légères. Plus loin encore, les surfaces s'affaissent de nouveau et à la limite de la région obscure sont devenues planes.

Aux pressions élevées, les surfaces de niveau sont planes à l'intérieur du faisceau cathodique : à l'extérieur du faisceau, elles sont convexes et fortement inclinées sur les parois.

Trajectoire des rayons-canal et des rayons cathodiques. — 1. *Rayons-canal.* — Sur les parois du tube, il se produit des phénomènes qui agissent sur les rayons cathodiques comme la région obscure, c'est-à-dire qu'ils repoussent les rayons vers l'axe [1].

D'après les expériences décrites dans ce qui précède, le potentiel décroît des parois vers l'axe du tube.

Il s'ensuit que ce ne sont pas les rayons cathodiques, mais les rayons-canal, formés par les ions positifs qui doivent être repoussés vers l'axe. Ce sont donc ces ions positifs qui déterminent la répartition du potentiel ; les rayons-canal représentent par suite le phénomène primaire : ce sont eux qui provoquent la production des rayons cathodiques et ceux-ci se propagent ensuite dans le champ déjà existant.

Rayons cathodiques. — Ces rayons doivent leur origine soit à l'action des rayons-canal, soit à celle des rayons ultra-violets qui tombent sur la cathode [2].

En dehors de la région obscure, les rayons des deux espèces subissent la même déviation sous l'action du champ magnétique [3].

Les rayons cathodiques suscités par les rayons-canal se propagent en ligne droite, en sens inverse de ceux-ci ; ce sont les rayons cathodiques ordinaires.

Les rayons suscités par la lumière ultra violette et qui prennent naissance aux points où tombent les rayons-canal suivront les mêmes trajectoires que les premiers. Il n'en sera pas

---

(1) Cf. Wehnelt, *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 117 et suiv., octobre 1898.

(2) Lenard, *L'Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 283, novembre 1900 ; t. XXXIII, p. 155, novembre 1902.

(3) Wehnelt, *L'Éclairage Électrique*, t. XX, p. 514, septembre 1899.

de même de ceux qui sont émis par les autres points de la cathode, à cause de la proéminence des surfaces équipotentielles dans le milieu du tube et de leurs enfoncements dans la région latérale. Dans ces enfoncements, une grande partie des rayons sont déviés et ils forment un faisceau en entonnoir. C'est ce que prouve la forme souvent observée de la tache fluorescente produite par le faisceau, tache composée d'une partie centrale entourée à quelque distance d'un anneau [1]. M. L.

MAGNETISME

Propagation des ondes magnétiques dans les cylindres de fer, par **J. Zenneck.** *Drude's Annalen*, t. X, p. 845-853, avril, 1903.

Les équations différentielles qui définissent la propagation des ondes électriques dans les fils ne sont pas applicables à la propagation des ondes magnétiques. Mais on peut trouver des équations représentant ce dernier phénomène avec une exactitude suffisante en suivant la même marche que dans le cas des ondes électriques, c'est-à-dire en appliquant à un élément du circuit magnétique l'équation [1] :

$$\Phi r'_m = M - L_m \frac{d\Phi}{dt} \qquad (1)$$

qui n'est démontrée que pour un circuit fermé.

Transportée à un élément du circuit, cette équation donne :

$$\Phi r'_m = -\frac{dV_m}{dx} - L_m \frac{d\Phi}{dt}, \qquad (2)$$

On trouvera l'équation qui doit remplacer l'équation de continuité en exprimant que :

1° Aucune ligne de force magnétique ne prend naissance ou ne se termine dans le cylindre de fer.

2° Le nombre des lignes de force qui se perdent dans l'air en un point quelconque du cylindre est proportionnel au potentiel magnétique en ce point.

$$-\frac{dQ}{dx} = C_m V_m, \qquad (3)$$

C_m étant un coefficient analogue à la capacité électrique rapportée à l'unité de longueur.

Des équations (2) et (3) on déduit :

$$C_m L_m \frac{d\Phi}{dt} + C_m r'_m \Phi = \frac{d^2Q}{dx^2} \qquad (4)$$

Pour une onde se propageant dans la direction des x positifs, c'est-à-dire pour :

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\beta x} e^{(\pi n t - \gamma x)\sqrt{-1}},$$

on aura d'après l'équation (4) :

$$\beta^2 - \gamma^2 = C_m r'_m$$
$$2\beta\gamma = C_m \pi n L_m. \qquad (5)$$

n représente la fréquence, β le coefficient d'absorption, γ est liée à la vitesse de propagation v par la relation :

$$v = \frac{\pi n}{\gamma} \qquad (6)$$

Cas particuliers. — 1° $\pi n L_m = r'_m$. Cette condition est à peu près réalisée avec une fréquence 100 pour des cylindres de fer de perméabilité et

(1). Ces conséquences se vérifient, au moins d'une manière qualitative par l'expérience suivante :

Un tube à décharges E (fig. 7) est mastiqué sur une lame de zinc K, servant de cathode. Cette cathode est percée d'une ouverture de 2 mm, à égale distance entre l'axe et la paroi. Vis-à-vis de cette ouverture, sur l'autre face de la lame K est mastiqué un second tube E_1 de 2 cm de diamètre du produit en E_1 des rayons

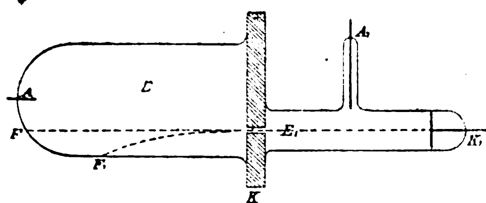


Fig. 7.

cathodiques qui passent par l'ouverture et viennent former une tache fluorescente sur le fond du tube E en F. Si on fait passer la décharge en E en même temps, le faisceau de rayons qui passe par l'ouverture est fortement dévié, comme le montre le déplacement de la tache. Cette déviation augmente beaucoup quand on diminue la pression. Les rayons cathodiques dont les points d'émission sont en dehors de la région centrale du tube sont donc fortement courbés vers le côté opposé à l'axe.

Il est possible de vérifier par des expériences directes que les rayons axiaux ne sont pas déviés.

(1) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 297, 21 février 1903.

de conductibilité électriques moyennes, ayant un rayon r de quelques millimètres. Alors :

$$\pi n L_m = r'_m = \frac{r}{2}\sqrt{\frac{\alpha}{2}}\, r_m.$$

Avec une approximation d'autant plus grande que $r\sqrt{\frac{\alpha}{2}}$ est plus grand :

$$\beta = 1{,}10\sqrt{C_m r'_m} = 1{,}10\sqrt{C_m \pi n L_m}$$
$$\gamma = 0{,}46\sqrt{C_m r'_m} = 0{,}46\sqrt{C_m \pi n L_m}.$$

Toutes choses égales d'ailleurs, l'absorption et la vitesse de propagation sont d'autant plus grandes que la fréquence est plus élevée.

2° $\pi n L_m$ est petit vis-à-vis de r'_m. C'est ce qui arrive avec la fréquence de 100 quand on considère des fils de fer de perméabilité et de conductibilité moyenne dont le diamètre est inférieur à 1 mm et de plus que :

$$r'_m = r_m$$
$$\pi n L_m = \frac{r^2 \alpha}{4}\, r_m$$

On a approximativement :

$$\beta = \sqrt{C_m r'_m}$$
$$\gamma = \frac{\pi n L_m}{2 r'_m}\sqrt{C_m r'_m}$$

La vitesse de propagation et l'absorption sont indépendantes de la fréquence. L'absorption dépend surtout de fuites magnétiques (C_m), tandis que la vitesse de propagation est surtout influencée par les courants de Foucault (L_m).

3° $\pi n L_m$ est grand vis-à-vis de r'_m. On réalise cette condition en prenant un noyau de fer feuilleté enveloppé d'un tube bon conducteur en métal non magnétique. On a à peu près :

$$r'_m = r_m$$
$$\pi n L_m = r d\, \frac{\alpha}{2} = r d\, \frac{\pi n \lambda \mu}{2 V^2},$$

où μ représente la perméabilité du noyau, r le rayon, d l'épaisseur des parois et λ la conductibilité de l'enveloppe (supposée mince).

$$\beta = \gamma = \sqrt{c_m \frac{\pi n L_m}{2}}$$

La vitesse de propagation et l'absorption croissent encore avec la fréquence.

D'une manière générale, la vitesse de propagation est d'autant plus petite que le coefficient d'induction propre magnétique par unité de longueur est plus grand.

Les expériences s'accordent bien avec la théorie quand il s'agit de fils ou de tiges de fer sans enveloppe métallique. Quand il y a une enveloppe métallique, l'accord est moins satisfaisant; l'expérience donne pour β et γ des valeurs différentes, alors que, d'après la théorie, ces coefficients devraient être égaux. M. L.

Eléments du champ magnétique terrestre à Potsdam, pour 1901, par **A. Schmidt**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 890-894, avril 1903.

Les valeurs ci-dessous sont déduites des observations enregistrées par la photographie.

Élément.		Valeur pour 1901.	Variation de 1900 à 1901.
Déclinaison	D	— 9°52',1 (O)	+ 4',2
Inclinaison	I	+ 66°30'.3 (N)	— 3',4
Comp. horiz.	H	0,18861 CGS	+ 17.10^{-5}
» nord	X	+ 0,18582	+ 21 »
» est	Y	— 0,03233	+ 19 »
» verticale	Z	+ 0,43387	— 79 »
Intensité totale	F	0,47309	— 66 »

D'après E. Hammer, les observations de Potsdam peuvent être représentées par la formule quadratique.

$$D_x = 9°,56',25 + 4',20\,(1900 - x) + 0',104\,(1900 - x)^2.$$

Lüdeling donne une formule plus rigoureuse et qui s'accorde avec les résultats des mesures effectuées de 1890 à 1901.

$$D = -\,10°17',24 + 5',14\,(t - 1896) - 0',104\,(t - 1896)^2.$$

Pour les autres éléments on a :

$$I = 66°39',25 - 1',47\,(t - 1896) - 0',015\,(t - 1896)^2$$
$$H = 0{,}187332 + 0{,}000232\,(t - 1896) + 0{,}0000019\,(t - 1896)^2.$$

Des orages magnétiques d'intensité notable ont été signalés les 25 mars, 10 mai, 14 août, 10 septembre et 28 décembre. M. L.

MESURES

Capacité des électromètres ; emploi des électromètres pour la mesure des quantités d'électricité, par **F. Harms**. *Drude's Annalen*, t X, p. 816-830, avril 1903.

En tenant compte de l'influence réciproque

des diverses pièces de l'électromètre (quadrants et aiguilles), on obtient la formule ordinaire pour relier la déviation aux potentiels.

Si l'aiguille est maintenue à un potentiel constant v_3, la première paire de quadrants Q_1 reliée au sol, la déviation est proportionnelle à la charge donnée à la deuxième paire de quadrants.

La sensibilité peut être modifiée soit en changeant la suspension soit en faisant varier le potentiel v_3. Quand on prend ce dernier procédé, la sensibilité pour les mesures de différence de potentiel ou pour les mesures de quantité d'électricité n'est pas changée de la même manière. Cela tient à ce que le potentiel des quadrants dépend non seulement de la charge qu'on leur communique, mais aussi de la charge de l'aiguille et de celle qui est induite sur cette dernière par les quadrants.

Pour mesurer les quantités d'électricité, on peut employer différentes méthodes.

1. On porte sur la première paire de quadrants Q_1 la quantité d'électricité à mesurer ; l'électromètre dévie : on ramène l'aiguille au zéro en portant la seconde paire de quadrants à un potentiel convenable : les deux paires sont alors à un même potentiel qu'on mesure au moyen d'un voltmètre.

2. Les quadrants étant maintenus à un potentiel constant, on communique la charge à l'aiguille, la déviation est proportionnelle à cette charge.

3. L'aiguille reçoit une charge constante : la charge à mesurer est communiquée à l'une des paires de quadrants : ce procédé n'est pas à l'abri de toute critique : les déviations ne sont plus proportionnelles aux charges.

Electromètre à feuille d'or. — La capacité de ces instruments varie peu avec la déviation. On peut mesurer avec une exactitude suffisante cette capacité en déterminant le potentiel auquel l'instrument est porté par une charge donnée. Cette charge est fournie par un appareil à écoulement et on l'évalue d'après le nombre de gouttes. M. L.

Les desiderata des exploitants d'entreprises électriques concernant la construction des compteurs.

Le bureau du Syndicat professionnel des Usines d'Electricité a nommé une commission chargée de rechercher les améliorations qu'il y aurait lien d'apporter à la construction et à l'exploitation des compteurs. Nous reproduisons ci-dessous, d'après le *Bulletin des Usines électriques* le rapport présenté par cette commission à sa dernière séance :

Les résultats de l'enquête de la commission des compteurs a démontré, par les réponses aux questionnaires qu'elle a envoyés aux stations électriques, que les directeurs et ingénieurs de celles-ci ont acquis une pratique suffisante des compteurs-moteurs pour se rendre un compte exact de leurs conditions de fonctionnement et d'exploitation.

N'aurait-elle eu pour résultat que d'appeler l'attention des stations sur les détails multiples du fonctionnement des compteurs qu'il ne faudrait pas moins se féliciter de l'initiative de cette enquête, car l'effort du Syndicat eût été loin d'être perdu et l'amélioration de l'entretien des compteurs qui en aurait été la conséquence se serait traduit, pour les stations, par une amélioration correspondante des résultats d'exploitation.

Mais les réponses que nous avons reçues, confirmant nos prévisions, nous démontrent qu'il y avait mieux encore à en attendre ; et les renseignements que nous avons recueillis sont précieux, et par leur nombre, et par leur concordance, et par la confirmation qu'ils apportent aux faits que l'exploitation plus ancienne des secteurs parisiens a permis d'observer.

Nous ne sommes pas encore en mesure de publier un rapport complet sur les résultats de cette enquête, la multiplicité et la diversité des questions posées nécessitant un travail de classement assez long ; mais nous pouvons, dès maintenant, en indiquer les grandes lignes et les points principaux.

Aussi, ne passerons-nous pas en revue, du moins pour aujourd'hui, les réponses à toutes les questions figurant aux questionnaires ; mais nous nous contenterons d'indiquer celles qui nous ont fourni les renseignements les plus précis.

D'abord, le fait principal qui en ressort est l'emploi général des compteurs-moteurs, tout au moins dans les distributions à courant continu ; car nous faisons une classification à part pour les compteurs à champ tournant.

De toutes les stations qui ont répondu aux

questionnaires, une seule emploie, et encore dans une faible proportion, un compteur autre que les moteurs.

La fréquence des visites d'entretien et des vérifications est assez variable entre les différentes stations. Elle varie de un mois à deux ans. Pour certaines stations, même, elles ne sont faites que sur réclamation de l'abonné. Il s'ensuit que le coût de l'entretien varie dans des proportions correspondantes indépendamment des différences locales du prix de la main-d'œuvre. Il est plus élevé dans les stations importantes où l'entretien est fait d'une façon plus soignée et plus fréquente et où le prix de la main-d'œuvre est plus élevé. Il est maximum dans les stations de Paris et de sa banlieue où il atteint 10 fr par an et par compteur.

Les réponses aux questions relatives au démarrage et à la limite d'exactitude des compteurs-moteurs sont les plus concordantes. Elles indiquent presque unanimement que le démarrage se produit vers le $\frac{1}{50}$ de la puissance nominale du compteur et que la limite inférieure d'exactitude se rencontre vers le $\frac{1}{20}$ de cette puissance.

Par contre, le pourcentage d'arrêts annuels offre des différences considérables. Outre les circonstances locales, les conditions d'entretien ont une influence indiscutable sur ces accidents. Les chiffres fournis varient entre 0,3 et 20 p. 100.

Les questions relatives aux compteurs pour distributions à fils multiples n'ont pas donné de renseignements bien précis. Les stations importantes, ayant un personnel compétent et un outillage assez parfait pour permettre d'effectuer des mesures précises, n'ont pas manqué d'observer les défauts d'exactitude de ces appareils. L'une d'elles, même, se prononce nettement pour l'emploi d'un compteur par circuit.

Mais elles sont naturellement en minorité, et, les petites stations, qui sont le plus grand nombre, n'étant pas en mesure d'effectuer les essais nécessaires, n'ont pu observer des faits qui leur eussent permis de répondre utilement.

En ce qui concerne les compteurs pour hauts voltages, les avis sont partagés presque également. A une voix de majorité, les stations qui emploient ces compteurs se prononcent pour une difficulté plus grande d'entretien provenant d'un encrassement plus rapide du collecteur, mais cette majorité ne se maintient pas pour reconnaître leur moindre sensibilité. Il serait intéressant que d'autres réponses nous parviennent sur ce sujet, il y aurait quelque chance que les avis se trouvent ainsi départagés.

L'emploi du compteur O'K est moins général que celui des compteurs genre Thomson. Les réponses s'accordent néanmoins à leur attribuer une sensibilité un peu plus grande qu'à ces derniers. Quant au coût de leur entretien, les réponses obtenues sont des moins concordantes. Toutefois, la majorité reconnaît que l'entretien est notablementmoindre. Il en est de même du calibre maximum jusqu'auquel il convient d'employer ces compteurs. Alors qu'un certain nombre de stations indiquent 5 ampères comme maximum quelques-unes estiment qu'il peut être employé jusqu'à 20 ampère. La majorité se prononce pour 10 ampères. L'emploi de ces compteurs étant plus récent et moins général, les réponses ne sont ni assez nombreuses, ni assez précises pour qu'on en puisse faire état utilement. Il est à désirer que d'autres réponses nous parviennent pour nous permettre de baser une appréciation sur un nombre de faits suffisamment grand.

Si, des renseignements d'ordre statistique, nous passons aux observations d'ordre plus général, nous constatons une plus grande concordance et plus de précision dans les réponses.

D'une manière générale, les stations estiment que la sensibilité des compteurs-moteurs est, sinon suffisante, du moins ne justifiant pas un accroissement de la dépense d'excitation. Une seule station se prononce en sens contraire.

Il est intéressant de noter les différences d'appréciations sur ce sujet.

Alors que certaines stations motivent leur avis par le peu d'importance de la perte résultant du défaut de sensibilité, d'autres en reconnaissent l'importance, mais estiment que la dépense d'excitation des compteurs-moteurs est déjà très élevée, surtout dans les compteurs à hauts voltages, et que l'augmentation de dépense compenserait largement l'augmentation de sensibilité.

Pour les stations hydro-électriques, le défaut de sensibilité des compteurs ne présente pas d'inconvénient important étant donné le bas prix de la force motrice.

Cette question, que nous pensions être d'une certaine importance, semble, d'après l'enquête,

être absolument négligeable pour la plupart des stations de province. Il est vraisemblable que ce fait est dû à l'emploi très restreint des compteurs de gros calibres dans ces stations.

La partie de l'enquête qui nous a valu les réponses les plus abondantes et les plus concordantes est celle qui a trait aux détails de constructions.

Le cadre que nous nous sommes imposé pour cette fois ne nous permet pas d'entrer dans le détail des observations qui nous ont été communiquées, car c'est là un sujet assez important pour ne pouvoir être traité avec tout le développement nécessaire que dans un rapport d'ensemble. Nous indiquerons seulement que le défaut principalement signalé est l'imperfection de la fermeture. En deuxième ligne vient la rupture des fils aux soudures, et en troisième le défaut d'ajustage de la minuterie.

Le questionnaire relatif aux compteurs pour courant alternatif n'a pas reçu de réponses aussi nombreuses, ni aussi documentées que pour les compteurs à courant continu. Ce résultat était à prévoir étant donné que les compteurs à champ tournant ne sont passés dans la pratique que depuis un temps relativement restreint. On peut même considérer qu'ils sont encore dans la période d'essai.

Néanmoins les résultats de l'enquête permettent de tirer les conclusions suivantes, d'après quatre types de compteurs observés : Batault, Blathy, Japy, compteur de la Compagnie d'électricité de Creil.

Aux divers régimes, le degré d'exactitude de ces appareils est pratiquement comparable à celui des compteurs-moteurs proprement dits.

La proportion des compteurs arrêtés n'est pas plus forte.

Ils enregistrent exactement le courant décalé à partir de $\cos\varphi$ variant de 0,8 à 0,6; certains compteurs enregistrent même exactement à partir de $\cos\varphi = 0,3$

Leur exactitude n'est pas pratiquement influencée par des variations dans la différence de potentiel ou dans la forme de la courbe.

Il n'a pas été fourni de renseignements sur l'influence de la fréquence. Il serait à désirer que des essais fussent faits pour déterminer la variation correspondante de l'exactitude de ces compteurs pour une variation de 10 p. 100 environ de la fréquence.

Influence de la nature de la cathode sur la séparation quantitative des métaux par électrolyse, par **A. Hollard**. *Bulletin de la Société chimique*, 3e série, t. XXIX, p. 217, avril 1903.

En analyse électrolytique, les métaux sont répartis dans deux grandes classes, suivant qu'ils sont ou qu'ils ne sont pas susceptibles de se déposer sur la cathode en solution fortement acide.

Les métaux qui ne peuvent pas se déposer en solution fortement acide sont ceux qui nécessitent, pour recouvrir la cathode, des tensions électriques supérieures à la tension pour laquelle l'hydrogène commence à se dégager ; on conçoit alors que, sous l'influence de ces hautes tensions, une solution fortement acide (c'est-à-dire une solution où la proportion des ions $\overset{+}{H}$ est très grande) donne lieu sur la cathode à un dégagement d'hydrogène tellement abondant que toute précipitation métallique y devienne impossible. Les métaux qui sont susceptibles, au contraire, de se déposer sur la cathode en solution fortement acide, sont ceux qui ne nécessitent, pour cette précipitation, que des tensions inférieures à la tension de polarisation de l'hydrogène ; leur dépôt n'est pas alors entravé par l'hydrogène.

Si nous convenons d'appeler zéro la tension de polarisation de l'hydrogène, nous aurons pour les tensions de polarisation des principaux métaux les valeurs suivantes (1) :

Tableau I.

Métaux ne se déposant pas en solution fortement acide.	Zn	+0,77
	Cd	+0,42
	Fe	+0,34
	Co, Ni	+0,23
	Sn	+0,19
	Pb	+0,15
	H	0,00
Métaux se déposant en solution fortement acide.	As	—0,29
	Cu	—0,33
	Bi	—0,39
	Sb	—0,47
	Hg	—0,75
	Ag	—0,77
	Pd	—0,79
	Pt	—0,86
	Au	—1,08

(1) Nernst et Wilsmore, *Zeit. f. Elecktrochemie*, 8 novembre 1900

Comme on le voit, la classification des métaux en deux groupes a pour base le *rang qu'occupe l'hydrogène* dans le tableau des tensions de polarisation des métaux. Mais ce rang n'est fixe dans la pratique de l'analyse électrolytique, que parce qu'on s'est toujours servi de cathodes en *platine*. En effet, l'hydrogène — comme l'a démontré Caspari (1) — a une tension de polarisation variable avec le métal constituant la cathode. Si donc on emploie, comme nous l'avons fait, des cathodes constituées par d'autres métaux que le platine, la tension de polarisation de l'hydrogène prend un autre rang dans le tableau précédent, ce qui fait passer un certain nombre de métaux d'un groupe dans l'autre.

On conçoit donc qu'on puisse arriver, par un choix approprié du métal cathodique, à séparer deux métaux du même groupe, dont les tensions de polarisation sont trop rapprochées pour pouvoir être séparées avec une cathode en platine : il suffit, pour cela, de choisir un métal cathodique qui donne à l'hydrogène une tension de polarisation intermédiaire à celle des deux éléments à séparer. L'élément dont la tension de polarisation est la plus faible, précipitera alors seul, en solution fortement acide.

Pour choisir le métal cathodique le plus convenable, on consultera le tableau suivant, qui a été établi par Caspari et qui donne les différentes valeurs de la tension de polarisation de l'hydrogène dégagé sur différents métaux pris comme cathode, dans une solution d'acide sulfurique normal :

Tableau II.

Pt platiné	0,00
Au	0,02
Fe (dans NaOH)	0,08
Pt poli	0,09
Ag	0,15
Ni	0,21
Cu	0,23
Pd	0,46
Cd	0,48
Sn	0,53
Pb	0,64
Zn (en solution acide de zinc)	0,70
Hg	0,78
Cu amalgamé	0,51
Pb —	0,54
Cd —	0,68

(1) Caspari, *Zeit. für physik. Chem.*, 1899, t. 30, p. 89.

Mais il ne suffit pas de choisir comme cathode un métal qui ait la propriété de relever la tension de polarisation de l'hydrogène au-dessus de la tension de polarisation de l'élément à précipiter, car cette propriété du métal constituant la cathode disparaît au moment où celle-ci se trouve recouverte par l'élément précipité, et alors la cathode joue le même rôle que si elle était constituée exclusivement par l'élément précipité. Il faut donc encore, pour que l'élément continue à se déposer, qu'il possède, lui aussi, la propriété de relever la tension de polarisation de l'hydrogène au-dessus de la tension de polarisation qui lui est propre.

En prenant les cathodes constituées par le métal même qu'il s'agit de déposer, on voit, d'après le tableau précédent, qu'on peut précipiter en solution fortement acide, non seulement les métaux dont les tensions, dans le tableau I, sont inférieures à celles de l'hydrogène, mais encore le plomb, l'étain et le cadmium. En effet, la tension de polarisation du plomb (+0,15) est notablement inférieure à celle (+0,64) de l'hydrogène se dégageant sur une cathode en plomb ; il en est de même pour l'étain et pour le cadmium.

Nous donnerons, comme application de cette nouvelle méthode de séparation analytique, la séparation du zinc et du cadmium, métaux que nous n'avions pas réussi à séparer (1) avec une cathode en platine, à cause des valeurs trop rapprochées de leurs tensions de polarisation.

Au contraire, nous avons pu en effectuer la séparation avec une cathode en cadmium ou en étain et en bain très acide. — Nos cathodes en cadmium ou en étain n'étaient autres que nos électrodes en toile de platine recouvertes électrolytiquement de cadmium ou d'étain.

Le cadmium et le zinc, amenés en solution à l'état de sulfates, étaient additionnés de 10 gr de sulfate d'ammoniaque et d'un excès de 5 cm³ d'acide sulfurique concentré. La solution étendue à 300 cm³ était traversée par un courant de 0,3 ampère.

Voici les résultats obtenus :

(1) Aussi bien en solution très légèrement acide (acétique), qu'en solution de cyanure, et si faibles qu'aient été les courants employés.

Résultats expérimentaux.

	Quantités pesées (1).	Cd déposé.	
Cd. . . .	0,1991	0,1972	Sur cathode en toile de platine étamée.
Zn	2		
Cd. . . .	0,2996	0,3010	
Zn	2		
Cd. . . .	0,1996	0,2002	
Zn	1		
Cd	0,1991	0,1984	Sur cathode en toile de platine cadmiée.
Zn	2		
Cd. . . .	0,2488	0,2484	
Zn. . . .	2		
Cd . . .	0,1991	0,1968	
Zn	0		
Cd	0,2000	0,0002	Sur cathode en toile de platine.
Zn	2		

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 6 avril 1903 (2)

Étude de l'électricité atmosphérique au sommet du mont Blanc (4810 m.) par beau temps, par **G. Le Cadet**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 886-888.

En vue d'élucider certaines questions relatives à l'électricité de l'atmosphère, M. Le Cadet a fait à l'observatoire du sommet du mont Blanc, sous les auspices de M. Janssen et pendant une période de beau temps par vent de sud, un séjour qui a duré du 31 août au 3 septembre 1902. Les expériences entreprises comprennent :

1° L'enregistrement continu de la variation diurne du *potentiel électrique* en un point de l'air au-dessus du sol, par rapport au potentiel du sol.

2° Une série de mesures directes de la *chute normale de potentiel* (voltmètre) entre deux points de l'air au-dessus d'une portion horizontale du sol neigeux du sommet.

3° Une série de mesures de la déperdition de l'électricité positive et de l'électricité négative dans l'air libre au voisinage du sol.

« 1. L'appareil enregistreur dont je me suis servi, dit M. Le Cadet, est, à quelques améliorations de détail près, celui que j'ai décrit précédemment (*Comptes rendus*, 1902, 1er semestre, p. 745). Je l'avais soigneusement installé dans la salle de l'Observatoire, près de la paroi est, à travers laquelle passait la tige du collecteur à radium qui aboutissait à 0,25 m au dehors et à 1 m au-dessus de la neige durcie. La terre était prise au rocher de la Tourette. Les déviations de l'électroscope gradué, correspondantes à cette exposition, ont été continûment enregistrées du 1er septembre à 8 h 30 m du soir au 8 septembre à 3 h 30 m du matin.

» Considérée dans son ensemble, la courbe enregistrée (que je mets sous les yeux de l'Académie) conduit immédiatement à cette conséquence : *la variation diurne du potentiel électrique par beau temps, au sommet du mont Blanc, présente une oscillation simple avec un maximum de jour entre 3 h et 4 h du soir et un minimum de nuit vers 3 h du matin.*

» 2. Les mesures directes de la chute normale de potentiel ont été faites, après divers essais, au moyen de deux collecteurs à mèches, au-dessus d'une petite plate-forme de neige sur la croupe du sommet, à 20 m environ au sud-est de l'observatoire. J'ai pris toutes précautions pour me soustraire aux causes d'erreurs signalées par *Beundorf*. Le 2 septembre j'ai fait 38 lectures de l'électroscope, de 7 h. 35 m. à 11 h. 15 m. du matin et 152 lecures de 12 h. 57 m. à 5 h. 3 m. du soir, ainsi qu'un certain nombre de lectures de l'hygromètre à cheveu et du thermomètre fronde.

» La courbe moyenne de ces lectures présente, dans l'intervalle des mesures, les mêmes inflexions générales que la courbe enregistrée

(1) Le cadmium employé dans les trois premières expériences contenait Pb = 0,231 p. 100, Fe = 0,000 p. 100, Zn = 0,000 p. 100. Le cadmium employé dans les trois expériences suivantes contenait Pb = 0,245 p. 100, Fe = 0,193 p. 100, Zn = 0,0000 p. 100. On a retranché cette proportion d'impuretés des quantités réellement pesées et ce sont les différences ainsi obtenues qui figurent dans la colonne *quantités pesées*.

(2) Aucune communication d'ordre électrique n'a été présentée à la séance du 30 mars.

et continue. On peut donc étendre à la variation diurne complète de la quantité mesurée en voltmètres les conséquences déduites des données de l'enregistreur et énoncer ainsi le résultat immédiat des déterminations précédentes :

« *Par le beau temps d'un régime estival de vent de sud, au voisinage de l'équinoxe d'automne, l'intensité du champ électrique au sommet du mont Blanc, mesurée près du sol par une chute normale de potentiel de* + 600 *voltmètres est soumise, dans son ensemble, à une oscillation simple avec un maximum* (*de* 900 *à* 1000 *voltmètres*) *entre* 3 *h. et* 4 *h. du soir et un minimum* (*de* 100 *à* 200 *voltmètres*) *vers* 3 *h. du matin.*

» Ce résultat confirme la loi générale de la variation diurne du champ électrique terrestre déduite par M. A.-B. Chauveau (¹) de la discussion de ses observations au sommet de la tour Eiffel, loi que j'avais moi-même pressentie et dont j'ai signalé les conditions de manifestation sur le sol des plaines (²), à l'appui d'une théorie qui se ramène à celle de l'ionisation de l'atmosphère par le rayonnement solaire.

» 3. Pour les mesures de déperdition, je me suis servi d'un appareil d'*Elster et Geitel* (construit par la maison Günther et Tegetmeyer de Braunschweig) et j'ai suivi la méthode indiquée par ces physiciens. L'appareil était établi à 1 m au-dessus de la neige et à 10 mètres environ au sud de la cabane de l'observatoire. Le cylindre abri était relié au fil de terre.

» Le 2 septembre, j'ai effectué, de 8 h. du matin à 5 h. du soir, en même temps que les observations de chute normale de potentiel, 31 mesures de déperdition, 2 mesures du signe + alternant avec 2 mesures du signe —, et *vice versa*.

» J'ai calculé pour chacune de ces mesures, la quantité *a exprimant, en valeur absolue, la perte pour cent, en une minute, de la charge originelle* et j'ai obtenu, par groupement des valeurs individuelles, la série suivante des valeurs simultanées de $a-$ et de $a+$ et du *rapport* $q=\frac{a-}{a+}$ *de la déperdition négative à la déperdition positive :*

Heures	$a-$	$a+$	$q=\frac{a-}{a+}$.
8 h. 48	21,355	2,425	8,81
9 h. 17	26,345	3,670	7,18
9 h. 46	28,885	4,275	6,76
10 h. 12	26,350	3,820	6,90
10 h. 39	27,210	4,920	5,53
11 h.	27,500	5,765	4,75
13 h. 15	27,205	2,740	9,93
13 h. 46	27,890	1,675	16,65
14 h. 13	28,580	2,025	14,11
14 h. 41	29,280	2,605	11,24
15 h. 7	30,395	1,890	16,08
15 h. 35	30,740	2,030	15,14
16 h. 1	31,165	2,900	10,74
16 h. 28	33,550	3,210	10,45

On voit qu'au sommet du mont Blanc la déperdition négative a été en moyenne 10 fois plus grande que la déperdition positive.

» D'ailleurs, une série de mesures de comparaison que j'ai faites le 4 septembre au fond de la vallée (1050 m), avec le même dispositif et par une situation atmosphérique très peut différente, donne : $a-$ moyen = 5,9 ; $a+$ moyen = 5,6.

» Ces résultats, par leur sens général et leur ordre de grandeur, confirment les faits annoncés par MM. Elster et Geitel (¹), en même temps qu'ils leur donnent une grande extension, et ils conduisent à cette conséquence importante : *La conductibilité apparente de l'atmosphère augmente avec l'altitude. Elle est sensiblement égale pour les deux signes au fond des vallées et présente, sur le sommet du mont Blanc, un caractère très nettement unipolaire.*

» J'ajoute que la variation du rapport q et la variation de l'intensité du champ électrique paraissent présenter entre elles une relation conforme à celle qui se déduirait d'une théorie de l'ionisation de l'atmosphère par la radiation solaire, en tenant compte des circonstances météorologiqnes observées et qui sont censées influer sur la mobilité des ions et sur l'intensité de la radiation. »

(¹) A.-B. Chauveau, *Étude de la variation diurne de l'électricité atmosphérique*, chap. v, p. 110, Paris, 1902.

(²) G. Le Cadet, *Étude du champ électrique de l'atmosphère* (*A. F. A. S.*, Saint-Etienne, 26ᵉ session, 1897, p. 283).

Sur le dichroïsme magnétique des liquides, par M. Georges Meslin. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 888-889.

A l'occasion de recherches sur le dichroïsme

(¹) Elster et Geitel, *Terr. magn. and atm. el.*, vol. IV, p. 224 et suiv. — *Annalen der Physik*. Bd. 2, 1900, p. 433.

des cristaux, l'auteur a réalisé un dispositif très sensible, qui permet de mettre en évidence cette propriété dans les corps qui la présentent à un faible degré et de la mesurer avec précision.

En raison de la sensibilité de la méthode, il a cherché à constater ce dichroïsme dans des solides isotropes, dans des liquides purs ou dans des solutions à l'intérieur desquelles on créerait une dissymétrie, soit par un champ magnétique, soit par un champ électrique perpendiculaire au rayon lumineux traversant ces corps.

Il a obtenu dans ces conditions, à l'aide du champ magnétique un dichroïsme mesurable pour la solution de bichromate de potasse dans l'essence de térébenthine, et pour la solution de ce même corps dans le sulfure de carbone.

Ces dissolutions, placées dans un champ magnétique, ont donc la propriété d'absorber inégalement la vibration parallèle au champ et la composante perpendiculaire à ce champ.

Pour ces corps, l'inégalité d'absorption se produit dans toute l'étendue du spectre ; elle est indépendante du sens du champ, comme on pouvait le prévoir.

L'essence de térébenthine, le sulfure de carbone, la solution de bichromate de potasse dans l'eau, n'ont pas jusqu'à présent manifesté cette propriété ; s'ils la présentent, ils l'ont à un degré beaucoup moindre. Il en est de même du flint lourd coloré, du moins dans l'étendue des champs magnétiques utilisés. M. Meslin n'a également obtenu jusqu'ici aucun résultat avec les solutions de tartrate étudiées par M. Cotton au sujet de l'inégale absorption des rayons circulaires droits et gauches.

Séance du 14 avril 1903

Sur la projection de la matière autour de l'étincelle électrique, par **Jules Semenov**. *Comptes rendus*, t, CXXXVI, p. 926-928.

Dans une série d'expériences sur la décharge électrique dans la flamme ([1]), l'auteur a constaté que la matière du pôle négatif ne se portait pas nécessairement vers le pôle positif et que, par des artifices quelconques, on pouvait dévier ou même arrêter complètement le courant négatif de la matière, sans interrompre le courant électrique.

En poursuivant ces recherches, M. Semenov voulait se rendre compte, d'une part, de quelle façon la matière du pôle positif était transportée sur le pôle négatif et, d'autre part, s'il existait un moyen de faire dévier du trajet de l'étincelle la vapeur du pôle positif, sans empêcher la décharge de se produire.

Dans ce but, il a employé deux méthodes : l'une consiste à étudier les dépôts formés sur des lames de verre autour de l'étincelle ; l'autre méthode se réduit à l'analyse spectroscopique d'une étincelle qui traverse une flamme longue et mince.

Les dépôts se formaient dans les conditions suivantes : un bec de gaz, d'un orifice de 0,5 mm de diamètre, était relié à un pôle d'une bobine d'induction, l'autre pôle communiquant avec une plaque de fer, placée horizontalement à 8 cm au-dessus du bec de gaz. Une étincelle éclatait entre cette plaque et une flamme de gaz d'éclairage, longue de 3 cm à 4 cm. De petites lames de verre étaient portées au moyen de supports à des hauteurs variées, à partir de 4 mm au-dessous de l'orifice du bec jusqu'au voisinage immédiat de la plaque de fer. En protégeant la flamme contre les courants d'air, on pouvait placer les lames de verre très près de l'étincelle sans qu'elles se brisent. En expérimentant de la sorte on a pu obtenir sur des lames, placées soit horizontalement, soit verticalement, des dépôts dont l'aspect différait suivant la position de la lame. L'analyse microchimique et l'analyse au microscope polarisant ont montré que le dépôt était formé uniquement du soufre provenant du gaz d'éclairage. A en juger par l'aspect général des dépôts obtenus sur plusieurs dizaines de lames de verre, il semble que la matière soit projetée dans toutes les directions autour de l'étincelle.

Il résulte de là que les gaz et les vapeurs, traversés par une étincelle, sont projetés autour de celle-ci dans toutes les directions grâce à l'élévation brusque de la température. Le sens du courant de décharge ne paraît exercer aucune influence sur le sens de cette projection.

La seconde série d'expériences visait, comme il a été dit, l'étude spectroscopique de l'étincelle traversant une flamme fine, placée entre deux électrodes métalliques.

([1]) *Comptes rendus*, 1902, mai, juin, juillet.

Dans ces conditions, et malgré la présence du condensateur mis en dérivation sur le secondaire de la bobine, on obtient une étincelle, très brillante, pouvant atteindre 2 cm. A l'aide d'une lentille, on projetait une région quelconque de l'étincelle horizontale sur la fente verticale d'un spectroscope à vision directe. Avec des électrodes d'un seul métal ou de deux métaux différents (plomb, étain, cadmium ou zinc), on put constater que l'étincelle présente, au point de vue spectroscopique, trois régions différentes : au milieu, dans la région de la flamme, on ne voit, au spectroscope, que les raies de l'air tandis qu'au voisinage de chaque électrode on aperçoit simultanément les raies de l'air et des raies métalliques. Lorsque les électrodes sont constituées par deux métaux différents, on voit, au voisinage de chacune d'elles, le spectre d'un seul métal, de celui qui constitue l'électrode. Une self-induction, intercalée dans le secondaire de la bobine, élimine complètement les raies de l'air : au voisinage des pôles, on ne voit alors que le spectre du métal correspondant avec les modifications signalées par M. Hemsalech, tandis que le milieu de l'étincelle ne fournit plus aucun spectre. En diminuant la longueur de l'étincelle, on voit apparaître d'abord les raies métalliques disparues avec l'introduction de la self-induction, et ensuite quelques raies de l'air.

Il s'ensuit que, dans les conditions décrites, les vapeurs métalliques qui se produisent sur les deux électrodes, au lieu de se diriger sur l'électrode opposée, sont entraînées par la flamme, si bien que la région médiane de l'étincelle en demeure complètement dépourvue.

« J'en conclus, dit M. Semenov, une condition essentielle de la décharge électrique : ce transport n'est qu'un phénomène secondaire. »

Action des corps radioactifs sur la conductibilité électrique du sélénium, par **Edmond van Aubel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 929-930.

F. Himstedt [1] et Eugène Bloch [2] ont montré que les rayons du radium agissent sur la conductibilité électrique du sélénium : la diminution de résistance observée est du même ordre de grandeur que les modifications produites par la lumière et par les rayons de Röntgen, mais elle se manifeste plus lentement. D'autre part, W.-J. Russell [1] a réalisé plusieurs expériences qui établissent que le peroxyde d'hydrogène agit d'une manière intense sur la plaque photographique, et J. Sperber [2] a étudié l'action photochimique de l'essence de térébenthine. Dans de récents travaux, L. Graetz [3] a prouvé que les phénomènes produits par le peroxyde d'hydrogène sont, en plusieurs points, analogues à ceux que donnent les rayons cathodiques et ceux de Becquerel, mais l'énorme influence de la température sur l'action photographique est une propriété caractéristique de ces nouvelles radiations. M. van Aubel a voulu se rendre compte comment le sélénium se comporte vis-à-vis des nouveaux corps radioactifs.

A cet effet, un élément au sélénium très sensible à l'action de la lumière, construit par J.-W. Giltay, a été placé dans l'obscurité au-dessus d'une cuvette en porcelaine contenant de l'eau oxygénée à 30 p. 100 en poids de peroxyde d'hydrogène. Une plaque en laiton de 1 mm d'épaisseur, pouvait être interposée entre le sélénium et la couche d'eau oxygénée, afin de permettre de supprimer l'action du corps radioactif. Le tout était placé dans une caisse en bois et soustrait à l'influence de la lumière.

La résistance électrique du sélénium était mesurée par la méthode du pont de Wheatstone. Lorsque la plaque de laiton était interposée, la résistance était 496 000 ohms ; en tirant cette plaque, on laissait agir les rayons émis par le peroxyde d'hydrogène et la résistance tombait, en 3 à 4 minutes, jusqu'à 324 000 ohms. En replaçant l'écran de laiton, on observait que le sélénium reprenait très lentement sa résistance primitive.

Ensuite une cuvette en porcelaine contenant de l'essence de térébenthine a été substituée à celle qui renfermait l'eau oxygénée et les mêmes expériences ont été répétées. La résistance électrique, qui était au début 461 000 ohms, est

(1) *Annalen der Physik*, 1901.

(2) *Comptes rendus*, t. CXXXIII, 1901, p. 914.

(1) *Proceedings of the Royal Society*, vol. LXIV, 1899, p. 409.

(2) *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, vol. XXIII, 1899, p. 127.

(3) *Physikalische Zeitschrift*, 4e année, 1902 et 1903, p. 160 et 271.

devenue 386 000 ohms après que le sélénium eut été exposé pendant 15 minutes à l'action de l'essence. La diminution de résistance se produisait maintenant beaucoup plus lentement que précédemment, et il en était de même du retour à la valeur primitive de la résistance électrique.

Dans toutes les expériences, la distance de la plaque de sélénium à la couche liquide était environ 3 cm.

Ces résultats montrent que les corps radioactifs agissent sur le sélénium, comme la lumière ou les radiations de Röntgen, mais que l'influence se fait sentir beaucoup plus lentement ; ils paraissent à l'auteur établir aussi que le peroxyde d'hydrogène et l'essence de térébenthine émettent des rayons.

Sur le dichroïsme magnétique et électrique des liquides, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 930-932.

Dans une note précédente, l'auteur signalait le dichroïsme que peuvent présenter les liquides dans un champ magnétique ; la continuation de cette étude lui a fourni les résultats suivants :

« Il se produit pour des liquides tels que le sulfure de carbone, l'essence de térébenthine, la benzine, le bichlorure d'étain, associés à certains corps colorés tels que le bichromate de potasse, le sulfate de cuivre, l'hélianthine, la roccelline, ou plus exactement tenant en suspension des particules de ces matières absorbantes. Tout se passe comme si le champ donnait à ces particules une orientation suivant les lignes de forces et si les vibrations subissaient une absorption particulière suivant qu'elles sont parallèles ou perpendiculaires aux filaments ainsi constitués dans la masse liquide.

« La nature du liquide employé, celle de la substance solide, et enfin le groupement des deux corps, influent très énergiquement sur l'intensité du phénomène ; ainsi le sulfure de carbone est actif lorsqu'il est mis en présence du bichromate de potasse, du sulfate de cuivre, de la roccelline, de l'hélianthine, de la chrysophénine, de la crysoïdine, du rouge de Bordeaux, de l'éosine, de l'érythrosine; il est inactif avec le sulfate de fer, l'iodure de mercure, le minium, l'iode et un grand nombre de dérivés de l'aniline; le rouge de Bordeaux est au contraire inactif avec l'essence de térébenthine, aussi bien que le bichromate de potasse en présence de l'eau, de l'alcool, de l'éther, du chloroforme. L'état de suspension des particules colorées ne suffit donc pas pour produire le phénomène ; d'ailleurs, les poudres amorphes telles que le lycopode, l'amidon, ne rendent pas non plus les liquides actifs et il y a une action particulière à chaque substance solide et à chaque groupement avec le liquide ; l'action peut même changer de *signe* lorsqu'on associe un solide avec deux liquides différents, ou encore un liquide avec deux solides.

» Ce phénomène est en effet susceptible de se produire de deux façons et d'être caractérisé par un signe ; car la vibration la plus absorbée peut être celle qui s'effectue parallèlement au champ, ou celle qui lui est perpendiculaire. Le premier cas est analogue à celui qui se présente dans les cristaux dichroïques positifs tels que le quartz enfumé (¹), et nous l'appellerons le *dichroïsme positif*, par une sorte d'extension de la remarque de Babinet sur l'absorption généralement plus intense de la vibration la plus lente. Le second cas est analogue à celui qui se présente dans la plupart des cristaux négatifs tels que la tourmaline ; nous l'appellerons le *dichroïsme négatif* (sans que cela préjuge rien au sujet du signe de la réfringence possible). Or, le sulfate de cuivre dans le sulfure de carbone donne le dichroïsme positif, tandis que dans l'essence de térébenthine il donne le dichroïsme négatif; d'ailleurs, ce renversement ne tient pas uniquement au changement du liquide ; car le bichromate de potasse donne le dichroïsme négatif tant avec le sulfure de carbone qu'avec l'essence, tandis que de son côté la roccelline donne un dichroïsme positif dans les deux cas.

» On est donc ainsi amené à placer les corps dans deux catégories, ainsi que le résume ce tableau :

Dichroïsme positif.

Sulfure de carbone avec roccelline.
Sulfure de carbone avec hélianthine.
Sulfure de carbone avec rouge de Bordeaux.
Sulfure de carbone avec sulfate de cuivre.
Essence de térébenthine avec roccelline.
Essence de térébenthine avec hélianthine.

(¹) Rappelons à ce propos que le dichroïsme des cristaux semble lié à la présence de particules absorbantes disséminées dans la masse.

Dichroïsme négatif.

Sulfure de carbone avec bichromate de potasse.
Essence de térébenthine avec bichromate de potasse.
Essence de térébenthine avec sulfate de cuivre.

» Ainsi, pour les corps de la première catégorie, la vibration suivant le champ est la plus absorbée ; on a le résultat contraire pour les corps de la seconde catégorie.

» En outre, cette inégalité d'absorption des deux composantes principales donne lieu à un autre phénomène qui se produit en même temps sans qu'il soit cependant une conséquence nécessaire du premier. Faisons tomber sur la cuve de la lumière polarisée à 45° de la direction du champ, les deux composantes égales suivant l'axe et suivant la perpendiculaire seront inégalement transmises et pourront, si elles se recombinent ensuite sans retard, donner une vibration rectiligne qui ne sera plus inclinée à 45° ; il pourra donc y avoir une déviation du plan de polarisation analogue à celle qui se produit dans la réflexion et dans la réfraction vitreuse. Toutefois, ce phénomène n'est pas absolument nécessaire, car il pourrait se faire que les deux vibrations ne soient pas capables d'interférer, auquel cas la lumière ainsi dépolarisée donnerait naissance à un faisceau partiellement polarisé suivant l'une des deux directions principales. La détermination du plan de polarisation de la lumière émergente permet de distinguer entre ces deux conséquences ; j'ai constaté avec l'hélianthine dans le sulfure de carbone que c'était le premier cas qui était réalisé et qu'il y avait une déviation du plan de polarisation qui le rapproche d'un des plans principaux ; le phénomène se produit graduellement dans les différentes couches, augmente avec l'épaisseur et donne lieu à une sorte de polarisation rotatoire magnétique de la lumière (par dichroïsme) dans une direction perpendiculaire au champ magnétique [1]. Je n'ai pas constaté de polarisation elliptique, c'est-à-dire de biréfringence magnétique dans ces circonstances.

» Plusieurs de ces corps, entre autre l'élianthine ou la rocceline, dans le sulfure de carbone, ont encore présenté une particularité curieuse. La dissymétrie créée subsiste pendant quelques secondes après la suppression du champ magnétique ; l'agitation la fait alors disparaître plus rapidement; mais à ce propos j'ai constaté que cette agitation n'empêchait pas le phénomène d'apparaître, même si on la produit pendant qu'on excite le champ et qu'on le maintient.

» Enfin j'ai cherché si le champ électrique ne produisait pas des phénomènes analogues ; je ne l'ai constaté qu'avec l'hélianthine dans le sulfure de carbone, qui donne alors un dichroïsme négatif, tandis que cette liqueur donne un dichroïsme positif dans le champ magnétique ; en cherchant la rotation du plan de polarisation, j'ai constaté, cette fois, une biréfringence appréciable ; on sait que le champ electrique produit une double réfraction notable (phénomène de Kerr), tandis que la biréfringence magnétique n'a guère été constatée jusqu'ici, sauf dans le cas des flammes absorbantes. »

[1] Kerr avait signalé l'existence d'une déviation du plan de polarisation dans le cas du bichlorure d'étain.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 2 Mai 1903. 10e Année. — N° 18

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

DE LA LÉGISLATION DES CHUTES D'EAU

L'étude des questions qui touchent à l'utilisation de l'énergie, et spécialement de l'énergie électrique, a pris au cours de ces dernières années un développement véritablement remarquable ; aussi, les esprits se sont-ils trouvés tout naturellement préparés pour l'examen d'un sujet qui offre, à des titres si divers, un intérêt considérable : les savants, les industriels, et enfin les pouvoirs publics eux-mêmes, en étudiant la question à des points de vue différents et souvent divergents, n'en ont pas moins groupé et en quelque sorte concentré des éléments de discussion qui permettront sans doute de résoudre cet important problème. C'est ainsi que nous avons vu il y a plus de deux ans (26 juin 1899) déposer le projet de loi qu'on a appelé du nom de ses auteurs le projet Guillain, devenu depuis le projet Berthelot, sur les distributions d'énergie [1] : cette proposition de loi reviendra vraisemblablement devant les Chambres au cours de cette législature, mais elle est appelée à subir des modifications assez sérieuses, non seulement parce que ce projet tel qu'il est demande à être amendé, mais aussi et surtout parce que des considérations nouvelles se sont fait jour qui viennent l'éclairer différemment et donner à un sujet déjà si attachant un aspect et une ampleur tout autres. Aujourd'hui, en effet, ce n'est pas la seule question de l'utilisation de l'énergie électrique qui réclame une solution, c'est encore celle de la production même de l'énergie qui est visée et plus particulièrement celle qui est la plus féconde de toutes ; nous avons nommé : la force hydraulique.

Il n'y a pas à le contester, il y a une question de la « Houille Blanche » et cette question est nettement posée devant l'opinion publique et plus spécialement devant le monde indus-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XV, p. 107 et 127, 16 avril 1898, et t. XXIV, p. LXXVI, 18 avril 1900.

triel. Les progrès des transports de force liés à l'emploi comme moyen de production de l'énergie hydraulique, ont provoqué ce mouvement et ont en quelque sorte donné le signal de la mise en valeur et de l'inventaire de cette richesse latente des chutes d'eau. Mais, à l'examen, on s'est aperçu que l'initiative privée était immobilisée et comme frappée de stupeur par l'effet paralysant d'une législation qui ne s'adaptait plus avec l'avènement de conditions industrielles nouvelles et la poussée invincible due aux progrès réalisés depuis 25 ans par les découvertes acquises dans le domaine de l'électricité.

Le système du Code civil, les conceptions des auteurs des lois du 29 avril 1845 et du 11 juillet 1847 qui complétaient à un point de vue spécial les principes admis par les législateurs de 1804 sur le régime des eaux, sont considérés comme des théories vieillies; elles ne visaient, disait-on, qu'à fixer d'une façon plus ou moins heureuse les droits des riverains et à assurer aux héritages, suivant l'expression du temps, le bénéfice de l'usage des eaux en envisageant exclusivement le point de vue cultural et leur meilleure utilisation possible en ce qui touchait l'irrigation.

Si on ne peut sérieusement adresser le reproche aux rédacteurs du Code civil de s'être laissés guider par ce seul mobile et d'avoir été aussi muets en ce qui concerne le point de vue industriel, il faut bien reconnaître qu'il y a cent ans on ne soupçonnait pas plus le développement des engins mécaniques que celui de la fortune mobilière par exemple, et qu'il n'y a pas lieu par suite d'être surpris des lacunes d'une législation qui n'avait d'autre objectif que de donner le plus de garanties possibles à la prospérité immobilière et de protéger une population qui ne vivait que de l'agriculture.

Quoi qu'il en soit, lorsque dans sa marche ininterrompue vers le progrès, l'industrie eut découvert le merveilleux emploi qu'elle pouvait faire de la force motrice recélée dans la pente de l'eau, dans la chute, en un mot, elle s'est ingéniée à l'adapter à ses besoins et à en faire l'agent docile et puissant de la production. C'est alors que les difficultés commencèrent. L'initiative privée se heurtait soit à l'inertie ou à la mauvaise volonté des riverains, soit, au contraire, dans un sens opposé, à l'esprit d'entreprise d'une certaine spéculation, à l'obstruction de ces intermédiaires infatigables, les pisteurs ou barreurs de chute; enfin, à côté de ces obstacles de fait, les industriels désireux de faire des aménagements de chutes d'eau, rencontraient le mur d'airain d'une législation qui n'avait qu'un tort à leurs yeux, celui de les avoir oubliés.

Examiner sous quel régime les diverses catégories d'eaux sont placées dans la législation actuelle; exposer et étudier les divers projets qui sont dus, soit à l'initiative parlementaire, soit à celle du Gouvernement; rechercher les diverses solutions proposées soit par les représentants de l'industrie, soit par des tiers, tel sera l'objet de cette étude.

I. — Législation actuelle.

Pour apprécier la situation juridique des chutes d'eau sous l'empire de la législation actuelle, il convient de rappeler très sommairement les principes généraux sur la matière; aussi bien cette brève revue est-elle la préface naturelle et nécessaire de notre sujet qui a pour objectif principal l'examen des modifications demandées à la législation des cours d'eau.

Les législateurs de 1804 divisèrent les cours d'eau en deux catégories (nous laissons de côté les sources et les eaux pluviales) : les cours d'eau *navigables ou flottables* et les cours d'eau *non navigables ni flottables*.

I. Cours d'eau navigables et flottables. — Pour ces eaux la situation est simple : elles

sont régies par le principe de la *domanialité* avec toutes ses conséquences ; par suite, les chutes d'eau qu'elles produisent suivent la même loi, c'est-à-dire qu'elles sont dans cette situation particulière que, étant considérées comme biens de l'Etat, elles ne sont pas susceptibles de propriété privée, les dépendances du domaine public ne pouvant être ni aliénées, ni prescrites. L'article 538 du Code civil les classe et les définit ainsi : « Les chemins, routes, ... les fleuves et rivières navigables et flottables qui ne sont pas susceptibles d'une propriété privée, sont considérés comme des dépendances du domaine public ».

Les eaux domaniales sont malgré leur caractère d'inaliénabilité, susceptibles de faire l'objet d'un droit d'usage par des particuliers. Dans ce cas, c'est l'Etat qui, sous la forme d'une concession ou d'une autorisation, intervient comme pouvoir concédant. La loi du 8 avril 1898, dans son titre IV, fixe, d'une part (chapitre I) les règles de la domanialité, en reprenant les principes formulés par le Code civil, statue sur les dérivations artificielles créées dans les propriétés particulières, sur la question des délimitations, enfin sur la propriété du lit en cas de changement du cours d'eau (art. 563 C. c. nouveau) et sur les alluvions ; dans le chapitre II du même titre la loi de 1898 détermine les formalités qui seront nécessaires pour la délivrance aux particuliers des concessions et autorisations ; nous nous arrêterons un instant sur ce point qui mérite quelques commentaires pour la suite de cette étude.

Le législateur de 1898 s'est inspiré de la situation administrative préexistante et a pris pour base de sa rédaction les décrets des 25 mars 1852 et 10 avril 1861 et aussi la circulaire ministérielle du 27 juillet 1852 ; ce sont, en somme les idées de l'administration du Second Empire qui ont été reprises et codifiées dans la loi du 8 avril 1898, mais dans un sens plus libéral vis-à-vis des tiers et en entourant la procédure d'instruction, préalable à la concession, de garanties plus larges au point de vue de la publicité et des voies de recours. Les articles 41, 42, 43 de la loi de 1898 reproduisent la division adoptée par la circulaire de 1852 en ce qui touche la nature et l'importance des travaux à exécuter par le demandeur en concession ou en autorisation pour utiliser l'eau des rivières navigables. Les formalités seront naturellement plus ou moins complexes suivant que les travaux considérés affectent d'une façon plus ou moins sérieuse, ou plus ou moins prolongée, le cours d'eau visé.

Les travaux peuvent se classer en trois catégories :

1° *Prise d'eau au moyen de machines sans altération du régime du cours d'eau.* — Dans ce cas, le Préfet a qualité pour statuer, après enquête et sur l'avis des ingénieurs, et sauf recours au Ministre par voie gracieuse.

2° *Etablissement temporaire, pouvant modifier le regime de l'eau.* — Le Préfet est toujours compétent, mais son pouvoir est limité en ce sens qu'il ne peut donner des autorisations excédant deux ans.

3° *Etablissements permanents modifiant le régime de l'eau.* — Les autorisations ne peuvent être données que par un décret rendu dans la forme des règlements d'administration publique après enquête, sur l'avis du Conseil d'Etat. Les demandes d'autorisation ou de concession pour l'aménagement d'une chute d'eau, par leur importance et leur caractère de permanence, rentrent dans cette dernière catégorie. Elles sont donc nécessairement soumises à la procédure longue et compliquée qui résulte du prescrit de la circulaire du 28 octobre 1841 et de celle du 27 juillet 1852. L'étude de cette instruction nous conduirait trop loin ; nous n'y insisterons donc pas. Qu'il suffise d'indiquer que les éléments principaux en sont constitués par deux enquêtes administratives successives et par une enquête technique dont les résultats sont consignés dans un procès-verbal par l'ingénieur ordinaire du service des eaux ; que le permissionnaire est soumis à l'obligation de payer une rede-

vance à l'Etat et de prendre sa part dans certains travaux d'entretien d'utilité commune.

Il se dégage de cette courte analyse que les autorisations ou concessions données à des particuliers en vue de l'établissement d'une chute d'eau sur une rivière navigable sont affectées d'un vice radical qui est la *précarité*. En inscrivant dans son article 45 la faculté de modifier ou de supprimer les autorisations données par l'Administration, la législation de 1898 a implicitement reconnu qu'une concession excluait, par définition, la notion de la constitution possible au profit du concessionnaire d'un titre de propriété. En outre, la prévision de l'allocation d'une indemnité à certains établissements ayant une existence légale vient confirmer en la précisant cette idée que le retrait ou la modification de l'autorisation n'ouvrent, en aucun cas, au profit du concessionnaire, un droit à indemnité.

II. Cours d'eau non navigables ni flottables. — La situation légale des eaux de cette catégorie est toute différente. Les rédacteurs du Code civil après l'abolition des privilèges féodaux eurent à substituer un droit nouveau au droit ancien des seigneurs disparu dans la tourmente révolutionnaire. Deux solutions se présentaient pour le législateur : ou subroger purement et simplement l'Etat dans les droits éteints des privilégiés et lui reconnaître la pleine propriété du lit et des eaux des rivières non classées comme de celle des rivières classées, ou attribuer ce droit aux riverains. Les rédacteurs du Code civil, pleins de prudence et de logique, pensèrent qu'en conférant à l'Etat la pleine propriété des cours d'eau non navigables, ils ne feraient que reconstituer sous une autre étiquette un privilège devenu odieux : ils ne le voulurent pas. Ils ne se décidèrent pas davantage à reconnaître aux riverains un droit de propriété absolu sur le lit et les eaux, pensant que cette décision était trop absolue et ne voulant sans doute pas engager l'avenir. Comme il arrive en pareil cas, la question fut résolue par une transaction et, laissant la question même du droit de propriété en suspens, les rédacteurs du Code civil se bornèrent à accorder aux riverains un simple droit d'usage sur les eaux courantes non navigables,

Ce système de conciliation qui correspondait d'ailleurs à une idée assez équitable de compensation pour les troubles que le voisinage des cours d'eau pouvait occasionner aux riverains trouva sa formule dans l'article 644 du Code civil, qui est ainsi conçu :

« Celui dont la propriété borde une eau courante autre que celle qui est déclarée dépendante du domaine public par l'article 538 du Code civil, peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés.

» Celui dont l'eau traverse l'héritage peut même en user dans l'intervalle qu'elle y parcourt, mais à la charge de la rendre à la sortie de ses fonds à son cours ordinaire. »

Le droit du riverain est donc un droit très précis, c'est un droit d'usage, c'est-à-dire un droit réel et immobilier assimilable à ceux définis par les articles 637 et suivants du Code civil. Ce droit n'a d'autres limites que celles que lui imposent l'exercice du droit parallèle de ses co-riverains et le respect des règlements administratifs ; il ne peut s'exercer que par le seul riverain, que ses fonds soient contigus ou non au cours d'eau, ou par les tiers qui lui sont subrogés par l'effet d'une cession, convention absolument légitime du reste, contrairement à ce qui a lieu pour l'usage considéré comme servitude personnelle qui, lui, est incessible (art. 631 C. c.).

L'article 644 ne visant et ne définissant qu'un simple droit d'usage, quelle était donc la situation légale du lit, de l'eau et de la perte de l'eau ? En présence du silence du Code, il fallait prendre parti sur cette délicate question. Le système qui prévalut en doctrine et qui fut définitivement admis par la jurisprudence fut le suivant : le lit et les eaux des rivières non navigables n'appartiennent ni à l'Etat, ni aux riverains, ils rentrent dans cette catégorie

de biens sans maîtres que l'article 714 du Code civil classe comme « res nullius », c'est-à-dire « qui ne sont la propriété de personne », mais dont l'usage est « commun à tous ». Cette théorie très juridique et assez simpliste fut maintenue jusqu'à l'avènement de la loi du 8 avril 1898 qui institua un droit nouveau et trancha définitivement toute controverse.

Dans son article 3, la loi précitée reconnaît formellement la *propriété du lit des cours d'eau non navigables ;* ce texte est, en effet, formel :

« Les lits des cours d'eau non navigables appartiennent aux propriétaires des deux rives : si les rives appartiennent à des propriétaires différents, chacun d'eux a la moitié du lit suivant une ligne que l'on suppose tracée au milieu du cours d'eau, sauf titre ou prescription. »

Quant à la propriété des eaux, la loi de 1898 maintient en les confirmant les principes acceptés, à savoir que les eaux des rivières navigables sont « res nullius » ; l'article 2 s'exprime ainsi : « Les riverains n'ont le droit d'user de l'eau courante que dans les limites déterminées par la loi. » Or, quelle est cette loi ? C'est le Code civil (art. 644 et 645) qui limite le droit des riverains à un simple droit d'usage. Il n'est pas douteux que la pente de l'eau doive suivre le sort de l'eau elle-même et que, par suite, le droit des riverains à utiliser la chute n'est et ne saurait être qu'un droit d'usage, puisque l'eau qui comprend évidemment la pente est « res nullius », c'est-à-dire n'appartient à personne.

Il résulte des travaux préparatoires de la loi de 1898 que, lorsque dès 1888 cette loi vint pour la première fois en discussion devant la Chambre, il s'était formé un courant d'opinion qui était favorable à la reconnaissance aux riverains d'un droit de propriété sur la pente de l'eau ; diverses considérations, dont l'examen nous entraînerait trop loin, firent repousser ce système que nous tenions à signaler, car il sera intéressant d'en faire état quand nous examinerons le point de vue nouveau, diamétralement opposé, qui a servi de fondement aux projets de loi que nous étudierons plus loin.

Nous devons donc dégager de cette courte étude de la théorie des droits de riveraineté les conséquences suivantes :

1° Les droits des riverains sur la chute se résument en un *droit d'usage*, mais dont l'exercice peut être modifié, diminué ou même paralysé radicalement par les droits concurrents des tiers qui eux aussi sont des riverains.

Les droits des riverains varient en importance, suivant que le fonds est bordé ou traversé par le cours d'eau ; il est bien évident que celui qui est propriétaire des deux rives doit avoir un droit moins compressible que celui dont l'héritage est seulement en bordure d'une rivière ; le droit d'usage du premier n'a d'autre limite en effet que celle de l'obligation de rendre les eaux à la sortie du fonds, à leur cours naturel.

2° Les riverains sont soumis au contrôle de l'Administration. La loi de 1898 dans son article 2 pose le principe en ces termes : « Ils sont tenus de se conformer dans l'exercice « de ce droit, aux dispositions des règlements et des autorisations émanés de l'Administration. »

Ce droit de l'Administration a toujours existé, et la loi de 1898 n'a fait que confirmer, dans le chapitre II du titre II, qui statue sur la police et la conservation des eaux, un grand nombre d'anciens textes qui avant le Code civil régissaient la matière.

L'article premier définit la mission et le rôle de l'Administration en ces termes :

« L'autorité administrative est chargée de la conservation et de la police des cours d'eau « non navigables, ni flottables. »

Les articles 9 à 17 règlent les divers cas qui peuvent se présenter, distinguent les *règlements généraux*, qui peuvent être pris par l'Administration dans un but d'intérêt

général des simples *autorisations individuelles ;* les premiers émanent du pouvoir exécutif et sont susceptibles, soit d'un recours gracieux au chef de l'Etat, soit d'un recours au Conseil d'Etat pour excès de pouvoir ; les secondes rentrent dans la compétence du Préfet représentant le pouvoir central et sont également susceptibles d'un recours gracieux et d'un recours contentieux.

Le droit d'usage de l'eau attribué aux riverains serait sans valeur s'il n'emportait pas pour eux le droit d'exécuter certains travaux destinés à l'utilisation de l'eau. Or, en dehors des règlements généraux pris par l'Administration dans un intérêt général (hygiène, salubrité, etc...), il lui échoit de prendre des mesures lorsqu'un intérêt collectif est en jeu, c'est-à-dire lorsque l'exercice du droit d'un riverain peut faire échec aux droits parallèles de ses co-riverains. L'intervention de l'Administration se manifeste alors, ainsi que nous l'avons vu, sous forme d'*autorisations individuelles*. Mais quand intervient l'Administration ? Le principe suivant est la règle : si les travaux doivent modifier le régime du cours d'eau, soit en préjudiciant à l'écoulement, soit en causant des dommages aux propriétés voisines, une autorisation s'impose : dans le cas contraire, le riverain peut agir sans avoir à solliciter l'agrément de l'Administration préfectorale. L'article II donne l'énumération, mais à titre simplement indicatif, des travaux qui rentrent dans la première catégorie : « Aucun barrage, aucun ouvrage destiné à l'établissement d'une prise d'eau, d'un moulin « ou d'une usine ne peut être entrepris dans un cours d'eau non navigable, ni flottable sans « l'autorisation de l'Administration. »

Une conséquence naturelle est attachée à ce principe de l'autorisation nécessaire de l'Administration pour les travaux d'une certaine catégorie exécutés par l'usager pour l'exercice de son droit de jouissance de l'eau, c'est la faculté pour le Préfet qui accorde l'autorisation de la modifier et même de la retirer ; cette notion de la *précarité*, que nous tenons à faire émerger de cette discussion, ne la perdons pas de vue ; elle domine, en effet, tout notre sujet et si une réforme de la législation s'impose, c'est bien celle qui aura pour objectif de supprimer ce vice qui vient anémier l'esprit d'entreprise des industriels désireux d'utiliser, comme riverains ou comme cessionnaires des droits de ces derniers, la chute produite par le cours d'eau non navigable dont la loi leur reconnaît l'usage.

III. — Loi du 29 avril 1845 et du 11 juillet 1847. — Nous ne pouvons nous dispenser dans cette revue rapide, et pour ainsi dire à vol d'oiseau, de notre législation actuelle, de dire un mot des lois relatives à l'irrigation qui sont venues compléter les principes du Code civil.

La difficulté que rencontraient les usagers de l'eau pour l'irrigation de leurs terres était très grande par suite de l'impossibilité où ils se trouvaient d'amener l'eau dont ils avaient besoin à travers des fonds intermédiaires, dont les propriétaires refusaient d'accorder l'accès, ou voulaient faire payer le droit de passage un prix exagéré. La loi du 29 avril 1845 avait un double objet qui s'est traduit par la création d'une double servitude : la *servitude d'aqueduc* et *celle d'écoulement*. L'article 1er de cette loi formule ainsi le principe :

« Tout propriétaire qui voudra se servir pour l'irrigation de ses propriétés des eaux naturelles ou artificielles dont il a le droit de disposer *pourra obtenir le passage des eaux sur les fonds intermédiaires*, à charge d'une juste et préalable indemnité..... »

L'article 2 statue sur la servitude d'écoulement comme suit :

« *Les propriétaires des fonds inférieurs devront recevoir les eaux qui s'écouleront des terrains arrosés*, sauf l'indemnité qui pourra leur être due..... »

Sans insister autrement sur ces textes qu'il nous suffise de retenir simplement ceci :

que les deux servitudes, inaugurées par la loi de 1845, visaient uniquement un intérêt agricole, et qu'on ne saurait, par suite, les servitudes étant de droit étroit, les étendre aux besoins industriels. Cette considération que nous tenions, pour la clarté de ce travail, à faire ressortir, ne peut s'expliquer que par la méconnaissance par le législateur de 1845 du développement futur de l'industrie. Quoiqu'il en soit, la loi en question révèle une insuffisance certaine puisque, si la jurisprudence a admis que l'article 644 qui ne visait que l'agriculture était susceptible d'être appliqué et étendu à l'industrie, on ne saurait en dire autant des servitudes instituées par elle qui restent strictement limitées à l'irrigation. Par suite, dans l'état actuel, la législation de 1845 ne saurait être d'aucune utilité pour le riverain qui serait désireux de créer une industrie alimentée par la force hydraulique.

La loi du *11 juillet 1847* se réfère à la constitution de la *servitude d'appui.*

Cette loi est en quelque sorte une annexe de la loi de 1845. En effet, la servitude d'aqueduc créée par cette dernière loi ne se comprend pas si le bénéficiaire ne peut construire l'ouvrage d'art destiné à la prise de l'eau, la retenue ou le barrage, par exemple, qui permettront d'amener l'eau dans l'aqueduc. Or, la loi de 1845 n'avait rien dit sur ce point important; aussi bien, la loi de 1847 survint-elle à point pour combler cette lacune.

L'article 1er de cette loi, qui comme la précédente poursuivait la satisfaction de besoins purement agricoles, et qui, par suite, ne saurait être étendue à l'industrie, dispose ainsi.

« Tout propriétaire qui voudra se servir pour l'irrigation de ses propriétés des eaux naturelles ou artificielles, dont il a le droit de disposer, pourra obtenir *d'appuyer sur la propriété du riverain opposé les ouvrages d'art nécessaires à sa prise d'eau,* à la charge d'une juste et préalable indemnité...., »

Tels sont en raccourci les éléments et les bases de la législation actuelle ; la connaissance de ces principes nous sera utile pour l'intelligence et l'examen des divers projets qui sont à l'étude et dont l'opinion publique a été saisie au cours de ces deux dernières années.

(*A suivre.*)

Edmond JUGE,
Avocat-Conseil

THÉORIE

DES ALTERNOMOTEURS POLYPHASÉS A COLLECTEUR [1]

CONSÉQUENCES A DÉDUIRE DE L'EXAMEN DE L'ÉPURE FONDAMENTALE DE LA FIGURE 10. — Si nous admettons provisoirement que le moteur s'écarte peu du synchronisme, comme un moteur asynchrone ordinaire, le courant à fournir par le réseau au rotor mI_2 est très petit à côté de I_1 et peut être négligé. L'épure de la figure 10 nous donne alors sous une forme géométrique simple les conditions de fonctionnement et de construction des moteurs à collecteur. Nous passerons en revue les principales propriétés qui s'en déduisent.

1° *Multiplicité des régimes correspondant à une charge donnée.* — Supposons le moteur construit. Ses constantes i_0, σ et α sont fixées une fois pour toutes, et par suite les longueurs OC et OM de l'épure sont connues et invariables, au degré d'approximation admis.

Dans ces conditions un point B du plan suffit à définir un régime de courants et de

---

(1) Voir le numéro précédent, p. 121.

couple moteur, puisqu'en joignant BO et BC on obtient des segments proportionnels à des courants du stator et du rotor respectivement, dont la résultante produit le flux constant F sous la tension U_1 (en négligeant le petit effet de la résistance ohmique du stator). Le couple moteur proportionnel à la hauteur BH du point B est aussi déterminé, ainsi que l'angle de décalage φ du courant statorique.

Mais — et c'est là la différence capitale de ce moteur par rapport au moteur asynchrone à induit fermé ordinaire — ce régime déterminé peut être obtenu à volonté avec une infinité de vitesses différentes, au-dessus aussi bien qu'au-dessous du synchronisme. Traçons en effet (fig. 11) la droite BM passant par le troisième pôle M de l'épure, et menons par B une droite YY' perpendiculaire à OM. Soit G l'extrémité du vecteur CG représen-

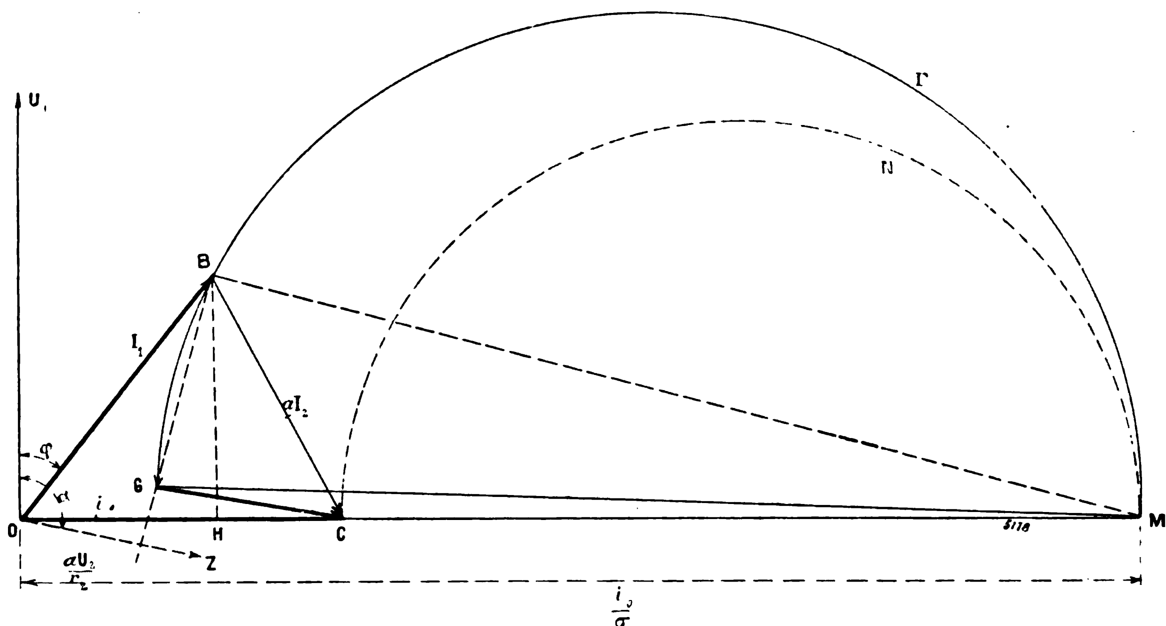


Fig. 10. — Épure du fonctionnement du moteur Gœrges. Diagrammes des courants I_1 et I_2.

tant le courant injecté aux balais. Ce point G peut se déplacer tout le long de la droite YY sans que le cercle construit sur MG comme diamètre cesse de passer par le point B. Pour chaque position de G le glissement sera assuré par le rapport $\frac{GB}{BM}$ auquel il est proportionnel, et qui indique un retard par rapport au synchronisme où G est plus bas que B et une avance dans le cas contraire.

Il y a donc une infinité de glissements permettant d'obtenir le régime défini par le point B et qui dépendent seulement de la grandeur de la force électromotrice extérieure V_2 appliquée aux balais, et du calage de ceux-ci.

Régimes synchrones et asynchrones. — Le régime B obtenu en tout point du plan peut donc être synchrone ou asynchrone par un simple réglage de l'excitation. On reconnaît qu'il est synchrone au fait qu'il n'y a pas de glissement, c'est-à-dire que le point G se confond avec B, et, par suite, le diamètre du cercle caractéristique avec la droite MB elle-même. Si cette condition n'est pas remplie, on est sûr qu'il y a glissement.

En outre, un couple donné BH peut être réalisé avec une seconde infinité de régimes

synchrones et asynchrones, correspondant à tous les points B du plan situés à une même hauteur BH au-dessus de l'axe OM. Dans le cas du synchronisme, les lignes horizontales d'égal couple, seront en même temps des lignes d'égale puissance.

Si on considère à part les régimes *synchrones* (fig. 12), on remarquera que le rotor se

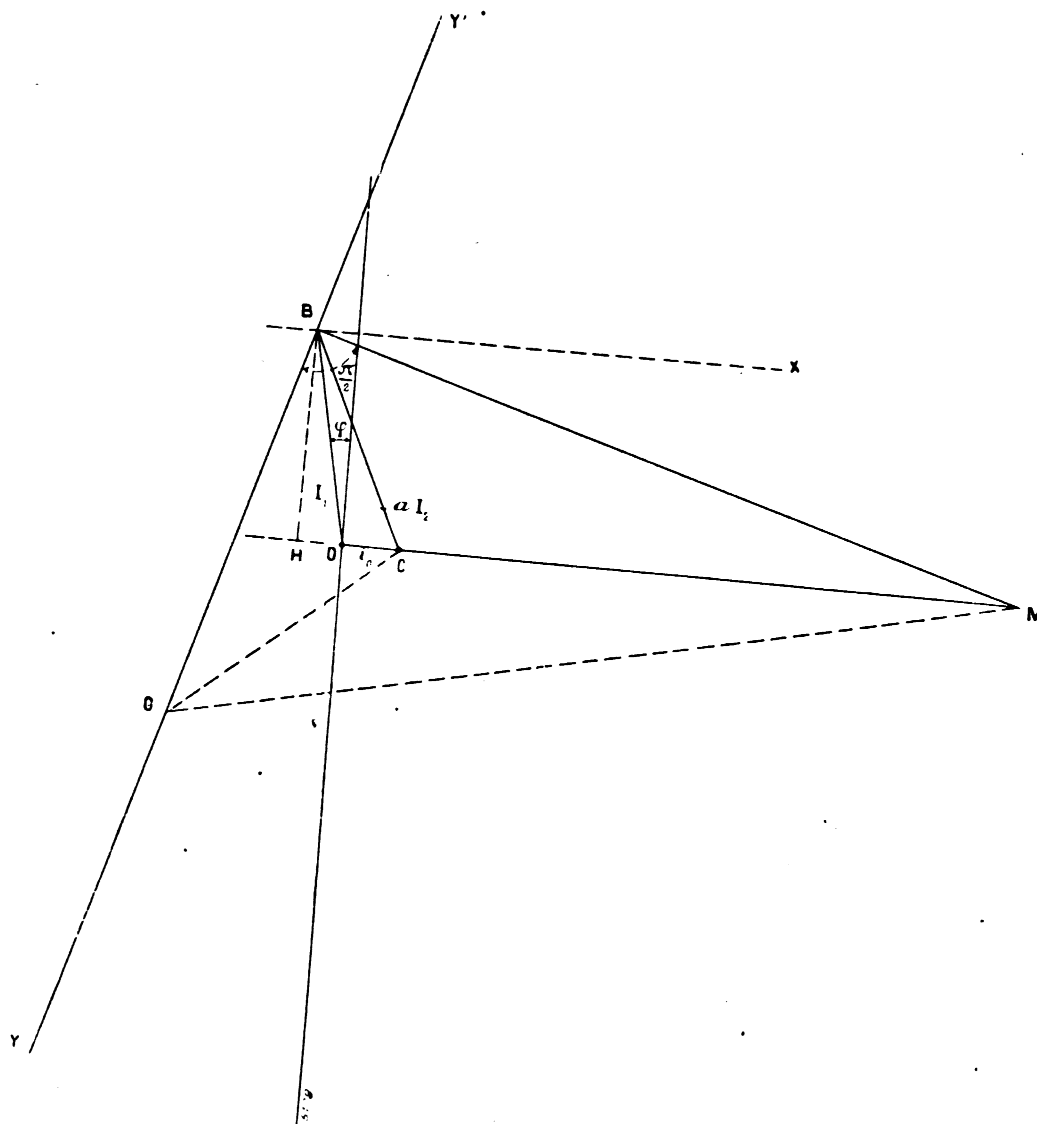


Fig. 11. — Infinité de régimes de vitesses correspondant à un régime de courants donnés.

comporte comme un inducteur ordinaire de moteur synchrone excité par du courant continu, et que par conséquent il produit un flux inducteur proportionnel à I_2 (dans l'hypothèse d'une perméabilité constante, qui est à la base même de l'épure circulaire). De même, le flux produit à vide par le stator seul est proportionnel à i_0. Il en résulte (toujours en négligeant la résistance ohmique r_1) que les vecteurs OC et CB sont respectivement proportionnels à la force électromotrice induite par le rotor seul et à la force électromotrice constante aux bornes du stator. Pour le régime synchrone, l'épure de la figure 11 est donc au

***

fond équivalente à l'épure bipolaire générale des moteurs synchrones [1], avec cette différence que nous avons négligé la résistance ohmique, et qu'en conséquence l'axe des phases est ici la verticale OU_1, tandis qu'en toute rigueur, dans l'épure des moteurs synchrones, il faut remplacer cet axe par un autre incliné un peu vers la droite et faisant avec OM un angle d tel que

$$\text{tang. } d = \frac{\omega L_1}{r_1}$$

en appelant L_1 et r_1 la self-inductance totale et la résistance du stator. En outre, les droites d'égale puissance, qui sont ici des horizontales, seraient remplacées par des cercles.

Ces différences sont pratiquement insignifiantes. Tout ce qu'on sait sur les moteurs synchrones au point de vue des régimes et en particulier du décalage est donc applicable aux moteurs à collecteur marchant au synchronisme, en admettant (ce qui malheureusement n'a pas lieu) qu'on puisse maintenir toujours le synchronisme à toute charge sans défaillance. En particulier, l'épure confirme le fait bien connu qu'on peut toujours, comme je l'ai établi jadis [2] pour tout moteur synchrone, régler les ampèretours d'excitation à une valeur telle que le courant du stator soit minimum et en phase axec la tension aux bornes. Il suffit que le point vienne en G_0 sur l'axe des phases nulles OU_1. Si on fait varier l'excitation, tout en maintenant le synchronisme et le couple résistant constant, la droite CG_0 s'incline à droite en CG' ou à gauche en CG et le courant I_1 croit dans les deux cas, ainsi que le décalage φ, tandis que G reste sur l'horizontale de puissance constante définie par la hauteur GH.

Fig. 12. — Régimes synchroniques à couple et puissance constants.

Il en est exactement de même pour les régimes avec glissement, ou asynchrones, comme on le verra tout à l'heure, mais l'étude de la variation du décalage est plus compliquée.

Il y a cependant une différence essentielle entre le moteur synchrone et un moteur à collecteur qu'on cherche à régler au synchronisme, c'est que dans le premier les pôles du rotor se décalent d'eux-mêmes, et par conséquent le vecteur CB pivote spontanément autour de C et on n'a qu'à régler le courant d'excitation, tandis que dans le moteur à collecteur il faut deux réglages, celui de la grandeur de l'excitation (longueur du vecteur CG),

(1) Voir mon petit livre « Moteurs synchrones », p. 82, épure de deuxième espèce.

(2) *La Lumière Électrique*, 1892. — Cette propriété a été indiquée aussi, seulement un an après moi, par M. Mordey, à qui beaucoup d'auteurs en attribuent la paternité.

et celui de la phase de l'excitation (réglage de l'angle OCG) par un déplacement des balais. En outre, la marche dite « synchrone » des moteurs Goerges, telle qu'elle a été décrite, est illusoire parce que *toute variation de charge* ou de vitesse fait déplacer le point B, tandis que le point G reste fixe. Le moteur quitte donc le synchronisme et ne peut jamais s'y maintenir exactement que pendant de courts instants.

En définitive, la marche synchrone n'est que temporaire et ne présente pas plus de facilités de réglage qu'une marche avec glissement et n'est justifiée que par le désir d'éviter les étincelles aux balais. La possibilité d'avoir un facteur de puissance égal à l'unité n'est pas plus spéciale au synchronisme qu'à l'asynchronisme.

Couple maximum. Stabilité de marche. — Si le moteur change de vitesse aux environs du synchronisme, sous l'effet d'un accroissement momentané de l'effort résistant ou d'une cause d'oscillation quelconque, le point figuratif du régime B (fig. 13) ne peut se déplacer que sur le cercle Γ correspondant à la force électromotrice U_2 appliquée aux balais et à la résistance r_2 des circuits du rotor, car ce sont ces deux quantités (la première vectorielle, la seconde scalaire) qui déterminent le vecteur caractéristique de l'excitation CG. Le moteur se comporte donc tout comme un moteur asynchrone ordinaire. Son ralentissement, toujours faible si on ne le fait pas caler, est accompagné en général d'un accroissement du courant I_1 du décalage φ et du couple moteur C, jusqu'à ce que ce dernier fasse équilibre au nouveau couple résistant. Et cette augmentation de couple provient directement d'une augmentation du glissement, contrairement à ce qui a lieu pour les moteurs synchrones, dont le couple varie seulement par un changement du décalage de phase.

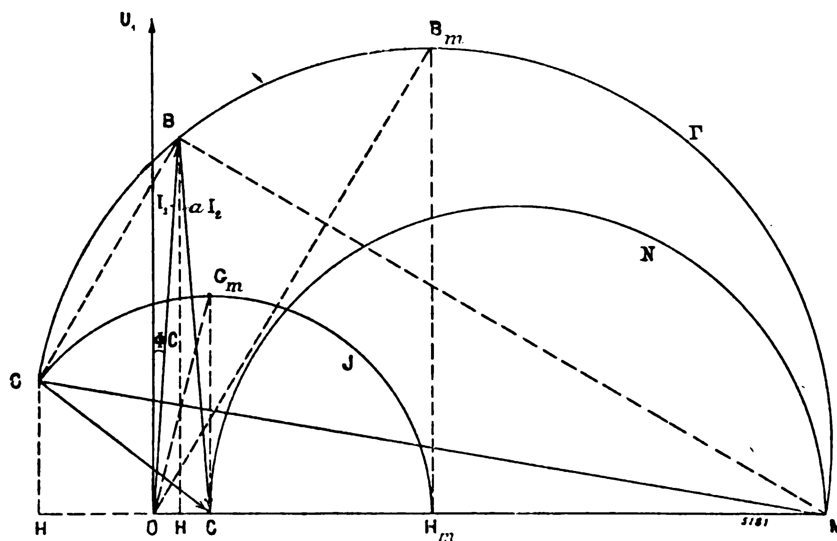


Fig. 13. — Conditions de stabilité des moteurs asynchrones à spires fermées (cercle N), des moteurs asynchrones à collecteur (cercle Γ) et des moteurs synchrones à enroulement inducteur distribué (cercle J).

La stabilité, c'est-à-dire la résistance au décrochage, est réglée par la hauteur du point le plus élevé B_m du cercle Γ au-dessus de l'axe OM, puisque cette hauteur B_mH_m indique le couple moteur maximum disponible. On peut définir en général le coefficient de stabilité par le rapport du couple maximum au couple normal, c'est-à-dire par le rapport $\frac{B_mH_m}{BH}$.

Si on alimentait le rotor, en deux prises de courant fixes sur l'enroulement, par un courant continu indépendant, le moteur serait un vrai moteur synchrone, et tous les points régimes seraient sur un cercle décrit de C comme centre avec CG (correspondant à l'excitation réalisée) comme rayon. Le couple maximum serait seulement représenté par le segment G_mC, au lieu de H_mB_m. Par conséquent, tant que le point G est situé au-dessus de OM et à gauche de C, comme c'est le cas normal, on peut affirmer que le moteur à col-

lecteur, et même le moteur asynchrone ordinaire ayant même rotor (réalisé quand G se confond avec C), ont un couple maximum de beaucoup supérieur à celui du même moteur rendu synchrone par une excitation indépendante. Cette remarque incidente a pour but de montrer qu'il n'y a rien à espérer dans cette transformation momentanée d'un moteur asynchrone en moteur synchrone récemment proposée par M. Danielson (1).

On voit en outre que, en accroissant le vecteur CG, c'est-à-dire le courant injecté aux balais, on peut accroître à volonté le diamètre du cercle Γ, et même relever ce diamètre si on relève le point G lui-même. Tout cela accroît beaucoup la hauteur maxima B_mH_m. On peut donc réaliser par l'alimentation du rotor au moyen d'un collecteur des couples bien plus grands et une stabilité plus grande qu'avec le même rotor simplement fermé sur lui-même dans un moteur asynchrone ordinaire, dont le cercle figuratif serait simplement le cercle N ayant CM pour diamètre.

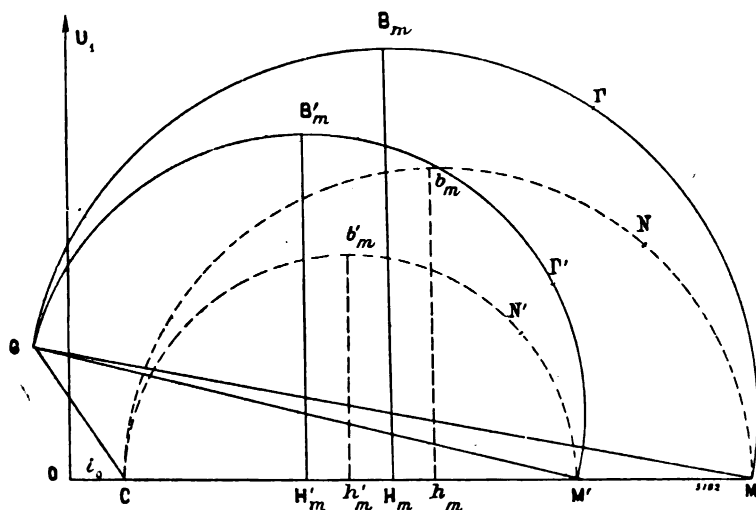


Fig. 14. — Influence des fuites magnétiques sur le moteur asynchrone avec ou sans injection de courant dans le rotor.

On verra plus tard, dans un paragraphe spécial, l'influence d'une addition de résistances extérieures dans le circuit du rotor.

Influence des fuites magnétiques et du courant d'excitation. — On se tromperait si on croyait que, grâce à leur collecteur, et même à la marche synchronique qu'ils permettent de réaliser, ces moteurs échapperaient à l'influence nuisible des fuites magnétiques. Comme on l'a vu, au contraire, en établissant le diagramme général, les fuites y jouent dès le début le même rôle que dans le moteur à spires fermées. Le diagramme confirme cette manière de voir, puisque la forme circulaire du cercle Γ, lieu du point B, est le résultat de la limitation du courant et de son décalage croissant avec la charge.

Il est donc tout aussi essentiel pour une bonne construction de se préoccuper de la forme et du nombre des encoches, afin de limiter le plus possible les fuites, à entrefer donné. Accroître les fuites, c'est accroître le coefficient σ, et réduire en raison inverse le diamètre CM du cercle fondamental Γ, en rapprochant le point M de O. La figure 14 montre qu'avec un coefficient σ' plus grand, si on conserve le point G aux environs de la verticale OU_1, pour limiter le décalage, on ne peut réaliser qu'un cercle Γ beaucoup plus petit sur GN' $\left(OM' = \frac{i_0}{\sigma'}\right)$ comme diamètre, et que le couple maximum $B'_mH'_m$ est réduit, ainsi que la stabilité qui en résulte, de même que quand on remplace le cercle N par le cercle N'. On pourrait, il est vrai, le retrouver aussi grand qu'avec le coefficient σ primitif, si on déplaçait beaucoup le point G sur la gauche, mais le grand décalage qui en résulte serait gênant, et obtenu en tout cas au prix d'un accroissement du courant, qui limite, par échauffement, la puissance disponible du moteur.

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, 5 avril 1902.

On peut donc bien conclure que les fuites sont une cause de limitation de puissance et de stabilité pour ces moteurs au même titre que pour les autres.

Influence de l'entrefer ; possibilité de l'augmenter. — On sait que le coefficient de fuites σ augmente aussi si on accroît l'entrefer et que le courant magnétisant i_0 augmente à peu près dans le même rapport. En effet, les fuites principales ont lieu autour des encoches contenant les enroulements, et, bien qu'une partie des fuites se fasse à travers l'entrefer et les encoches opposées, comme elle est très faible, elle ne joue qu'un rôle négligeable. Le coefficient de fuites, qui est le rapport $\frac{\nu_1 + \nu_2 - 1}{\nu_1 \nu_2} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{1 + \tau_1 + \tau_2}$, sensiblement égal à $\tau_1 + \tau_2$, représente donc sensiblement un rapport de perméabilités de fuites $\mathfrak{P}_f$ constantes à la perméabilité du circuit magnétique principal $\mathfrak{P}_p$

$$\sigma = \frac{\mathfrak{P}_f}{\mathfrak{P}_p}$$

D'autre part, le courant magnétisant est très sensiblement égal au flux F_1 constant divisé par le nombre de spires équivalent du stator et par la perméabilité du circuit principal

$$i_0 = \frac{F_1}{2\pi K_2 N_2 \mathfrak{P}_p}$$

On voit donc bien que σ et i_0 varient sensiblement de même quand on modifie l'entrefer. Sur l'épure, une modification de ce genre se traduit simplement par un déplacement du point C en C′ (fig. 15), sans que la position de M soit sensiblement modifiée, puisque $OM = \frac{i_0}{\sigma}$. Le cercle N devient alors N′ dans un moteur ordinaire.

Comme OM est toujours très grand vis-à-vis de OC, on peut, en augmentant l'entrefer, modifier OC dans une grande proportion, doubler par exemple ou tripler le courant magnétisant, sans changer beaucoup le diamètre du cercle Γ, ni par suite le couple maximum. C'est un fait bien connu des constructeurs. Mais l'augmentation d'entrefer ainsi réalisée, pour faciliter la construction et l'entretien des moteurs asynchrones ordinaires, est achetée chèrement par l'accroissement du courant magnétisant, et par la réduction corrélative du facteur de puissance cos φ. On peut dire en général que c'est le facteur de puissance cos φ désiré qui règle l'entrefer admissible.

Il en est tout autrement avec les moteurs à collecteur, bien que l'accroissement d'entrefer amène le même déplacement du point C, par exemple en C′. En effet, on peut alors corriger ce courant par un accroissement correspondant de la tension U_2 du courant injecté C′G, au lieu de CG, et réaliser exactement le même cercle Γ quel que soit l'entrefer. MM. Heyland et Latour ont vu tous deux cet avantage des moteurs à collecteur, et ce n'est pas étonnant, car il existe aussi bien à l'asynchronisme qu'au synchronisme.

La figure 15 montre que pour tout régime, tel que B, l'accroissement de l'entrefer peut être ainsi compensé par une augmentation de la force électromotrice U_2 appliquée aux balais, et que les ampèretours du rotor doivent être accrus en conséquence, dans le rapport $\frac{BC'}{BC}$. Cette augmentation relative d'ampèretours en charge est, comme on le voit, moindre que l'augmentation relative du courant magnétisant, mais elle exige néanmoins l'augmentation de la quantité de cuivre placée sur le rotor. Celle-ci à son tour entraîne un accroissement des fuites magnétiques du rotor, qui croissent en effet avec les dimensions des encoches, et le point M se déplace donc plus ou moins vers la gauche en réduisant un peu le couple maximum. En outre, l'accroissement d'ampèretours du rotor nécessite

l'emploi de courants plus intenses au collecteur si on ne veut pas élever trop la force électromotrice induite dans le rotor au démarrage. Enfin dans les régimes autres que le synchronisme, l'augmentation du courant magnétisant total est sensible.

L'augmentation de l'entrefer est donc possible par l'emploi du collecteur, mais est limitée par des considérations, quand on se préoccupe de toutes les conditions de fonctionnement et non pas seulement de la marche normale, voisine du synchronisme. En particulier, au démarrage, comme on le verra plus loin, le courant magnétisant fourni par le rotor serait tout aussi gênant et tout aussi décalé que s'il provenait du stator ; cependant le décalage serait moindre que sans collecteur grâce à la majoration du couple moteur disponible sous un décalage donné.

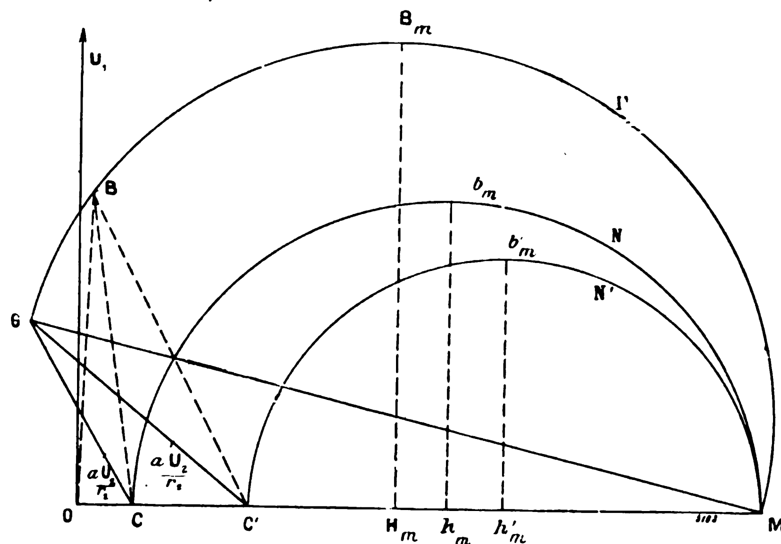


Fig. 15. — Influence de l'entrefer sur les moteurs asynchrones à spires fermées et sur les moteurs à collecteur.

Avant d'aller plus loin dans la théorie, nous pouvons déjà, à l'aide de ce qui précède, comprendre et juger les régimes de fonctionnement préconisés par M. Latour et par M. Heyland, car ce sont les plus simples auxquels puisse donner lieu le moteur Gœrges. Tous deux règlent l'excitation pour $\cos \varphi = 1$, mais le premier conseille le synchronisme, et le second, une vitesse très voisine du synchronisme.

Moteur Latour. — Parmi les nombreux régimes des moteurs Gœrges, on est maître de choisir l'un ou l'autre par une construction convenable, et en particulier de régler la vitesse moyenne de ces moteurs par le nombre de spires du rotor, de même qu'on règle la vitesse d'un moteur shunt à courant continu, c'est-à-dire en gros (explication approximative), en donnant à l'induit un nombre de spires tel qu'à la vitesse désirée, la force électromotrice induite fasse équilibre à la tension appliquée aux balais ; les deux problèmes sont analogues, puisque le moteur Rotten, du fait que son stator est alimenté à tension constante, est un moteur à champ magnétique constant.

Il n'y a donc rien de spécial à réaliser telle ou telle vitesse normale en pleine charge, plutôt qu'une autre, et tout constructeur est libre de choisir celle qui lui paraît la plus avantageuse, même le synchronisme. Celui-ci est, avec raison, prôné par M. Latour, car au point de vue du rendement, il y a intérêt, comme dans tous les moteurs alternatifs asynchrones, à se rapprocher le plus possible de cette vitesse en marche normale, pour réduire les pertes par hystérésis et Foucault dans le rotor, et même les pertes par effet Joule, (puisqu'au synchronisme le courant du rotor est entièrement watté, et par suite donne l'échauffement minimum à puissance donnée). Mais M. Latour, en réalité, a trouvé surtout désirable le synchronisme pour un autre motif, celui de réduire au minimum les étincelles aux balais, qui étaient sa principale préoccupation, et à ce point de vue il doit être loué sans réserve, mais en fait, on ne réalise que passagèrement le synchronisme, et la moindre

variation de charge le lui fait perdre. Il a donc été conduit, dans le cas des générateurs, à imaginer une disposition de compoundage qui corrige ce défaut d'une façon très ingénieuse, imitée depuis par M. Heyland.

Mais s'il est possible de maintenir automatiquement le synchronisme par compoundage dans un alternateur auto-excitateur *générateur* du système Latour, il n'en est pas de même pour un *moteur*, et c'est pourquoi M. Latour n'a pu, semble-t-il, construire qu'un moteur Gœrges et non un moteur Latour, bien qu'il ait eu le mérite *scientifique* de voir spontanément les avantages du régime synchronique, moins bien signalés par Gœrges et d'une basse tension aux balais.

Je dois ajouter qu'on a insisté à tort sur l'inconvénient, que présenterait l'enroulement à fil fin du rotor, de donner lieu à des tensions internes excessives : en effet un rotor fermé en court-circuit sur lui-même n'est le siège que d'une force électromotrice insignifiante dans tous les cas ; fermé sur le réseau, il ne présente qu'une force électromotrice interne à peine supérieure à celle du réseau. La force électromotrice intérieure, en effet, n'est jamais produite que par le flux résultant, différence entre le flux du stator et le flux de self-induction du rotor. Le prétendu défaut de construction du moteur Gœrges, à ce point de vue, était donc imaginaire.

Moteur Heyland. — Le moteur Heyland est plus complexe que le moteur Gœrges, et s'en distingue par l'addition de résistances en dérivation sur les touches du collecteur, en guise de shunts (ces shunts sont d'ailleurs semblables à ceux employés depuis longtemps par la Compagnie Thomson-Houston pour l'excitation par commutateurs dans ses alternateurs compoundés, et des artifices du même genre ont été employés autrefois, notamment par M. Marcel Desprez pour les collecteurs de dynamos), ou, ce qui revient au même, par l'addition d'une cage d'écureuil résistante sur le même rotor qui porte l'enroulement à collecteur.

A première vue, on pourrait croire que le but de ces additions est simplement de supprimer la tendance à la production des étincelles aux balais, et qu'il s'agit simplement d'un moteur Gœrges avec artifices pare-étincelles. Mais M. Heyland a toujours repoussé énergiquement cette interprétation et attribué un rôle capital à la bonne fermeture des courants par les résistances shunts, ou par la cage d'écureuil supplémentaire. Il veut que l'on considère son moteur comme un moteur différent de celui de Gœrges, c'est-à-dire comme un moteur à spires fermées, avec injection d'un courant supplémentaire extérieur.

Je ne demande pas mieux que de me conformer à cette définition, quitte à voir tout à l'heure si elle est satisfaisante. Dans ce qui suit, je considérerai donc les shunts entre lames, ou la cage d'écureuil, comme jouant un rôle important. Pour simplifier, je choisis d'abord un seul des deux cas, celui des shunts entre touches.

Je vais montrer que l'épure relative à ce cas diffère de celle donnée plus haut pour le moteur Gœrges, mais qu'elle s'en déduit aisément. Pour plus de généralité, je supposerai que les conducteurs qui vont des bornes du réseau aux balais du rotor ont une résistance non négligeable, ainsi que le réseau (sans cette hypothèse du reste, on ne pourrait employer les shunts dans les conditions que suppose M. Heyland, comme on le verra aisément par ce qui suit).

Appelons donc R_2 la résistance extérieure d'un circuit de phase allant de balai à balai par le réseau, r'_2 celle des shunts par phase, I'_2 et I''_2 les courants du rotor et les courants amenés aux balais, I_2 ne servant plus qu'à désigner le courant échangé entre le rotor et le réseau.

Les forces électromotrices E_2 et U_2 et ces trois courants sont entre eux dans les mêmes

relations que les courants I_1, I_2 et les flux Φ_1, Φ_2 et F considérés dans l'étude des flux. Les perméabilités de fuites sont remplacées par les conductances des shunts. D'après celles-ci, on peut aisément calculer des coefficients de fuites de courant pour le rotor γ'_2 et pour les conducteurs du réseau γ''_2, qui seront en général différents. Supposons-les connus, en nous réservant de montrer plus tard la manière de les calculer. Nous voyons immédiatement comment se traduisent ces fuites en construisant (fig. 16) au moyen des lignes BG et GC de l'épure du moteur Gœrges, les courants de fuites du rotor et du réseau.

Les courants de fuites du rotor sont en phase avec la force electromotrice induite résultante E_2, et par suite avec la composante BG du courant du rotor. Ils prennent part avec ceux-ci à la production des ampèretours dus au rotor. Donc BG de la figure doit représenter ici le courant total en phase avec E_2, et nous pouvons décomposer ce vecteur en deux partiès, l'une Gb qui se produirait sans les shunts, l'autre $\overline{bB} = \gamma'_2 \overline{Gb}$, représentant la fuite de courant par les shunts, qui est une fraction fixe de la longueur GB.

De même la force électromotrice du réseau U_2 produit dans le rotor comme d'habitude un courant composant $GC = \frac{aU_2}{r_2}$, mais en plus une fuite de courant $Cc = \gamma''_2 GC$. La longueur Gc est constante et c est un point fixe pour chaque calage et valeur de l'excitation.

Cela posé, on voit aussitôt que le courant échangé I_2 est bC, le courant dans le rotor $I'_2 = BC$ comme précédemment, et enfin le courant fourni par le réseau $I''_2 = bc$. Tout est donc complètement représenté par des vecteurs nouveaux sur notre première épure. En réalité, le courant I_2 nous important peu, il nous suffit de savoir que le courant total de l'induit $BC = I'_2$ suit exactement la même loi que pour le moteur Gœrges, ainsi que le couple et le courant I'_1. et que seul le courant pris au réseau I''_2 est changé. On voit aisément que le courant total se détermine comme précédemment, car le point b décrit lui-même un cercle, et le pôle C est remplacé par un autre pôle fixe c. Le lieu du courant total sera donc un cercle comme d'habitude facile à construire.

Le glissement se trouve augmenté, puisqu'il est proportionnel (pour un même point B donné) à la conductance du rotor. Il croît donc comme celle-ci, dans le rapport γ'_2. Le courant I''_2 est de même augmenté. Nous voyons ainsi que l'addition des résistances entre shunts ne modifie que quantitativement, et pratiquement fort peu, les propriétés des moteurs Gœrges, et ne change rien notamment à la possibilité de les régler à $\cos \varphi = 1$. On ne peut dire qu'elle les améliore en quoi que ce soit, sinon au point de vue des étincelles. Le cas de la cage d'écureuil supplémentaire n'en diffère enfin que parce que le segment Cc s'annule. Il aurait au moins l'avantage de ne pas augmenter la consommation de courant du réseau I''_2 comme l'accroissent les résistances shunts, fâcheusement du reste.

Les conclusions auxquelles nous arrivons ainsi, confirment donc par une démonstration précise l'impression formulée par M. Latour et M. Osnos dans de récentes discussions du moteur Heyland, à savoir que ce moteur n'est pas aussi différent de celui de Goerges que voudrait le faire croire son auteur. Il est très spécieux de dire, comme il le fait, que l'addition de shunts équivaut à fermer le rotor en court-circuit, et que le réseau superpose au courant de court-circuit un courant magnétique constant, mais cette façon simple de présenter les choses, ne supporte pas l'analyse que je viens d'exposer. En effet, pour ne pas accroître à l'excès les pertes, on est obligé de réduire à de faibles valeurs les coefficients γ' et γ''', et par suite les courants des shunts Bb ne sont qu'une faible fraction des courants totaux amenés par les balais $\overline{bC}$; le rotor n'est fermé que très faiblement, pour un cinquième environ du courant total, d'après une déclaration de M. Heyland devant la Société des élec-

triciens. Il est donc bien, en gros, dans les mêmes conditions de fonctionnement qu'un moteur Goerges et ne répond pas à sa définition première. On arrive à ce dilemne : ou bien c'est un moteur Goerges perfectionné par des pare-étincelles si les shunts sont peu conducteurs, ou bien c'est un moteur Georges abîmé par des fuites excessives, si les shunts sont peu résistants.

Il est vrai que plus récemment, M. Heyland a indiqué des résultats d'expérience assez curieux et des considérations nouvelles pour les interpréter à un autre point de vue.

Tout d'abord il constate que le courant pris au réseau par le rotor est sensiblement constant à toute charge, bien que le courant watté dans le rotor soit évidemment proportionnel

Fig. 16. — Épure du moteur Heyland.

à la charge. Mais ce fait peut être expliqué par l'épure si l'on suppose le moteur construit avec un grand entrefer comme le recommande M. Heyland. Car alors le segment OC est grand et on voit sur l'épure de la figure 10, que la longueur du segment BC représentant le courant aux balais variera peu entre la marche à vide et la pleine charge, si le point C est pris sur OM.

M. Heyland trouve aussi que le facteur de puissance reste constant sensiblement à toutes charges. Cela est plus étonnant et ne s'explique pas par l'épure. Mais peut être cet effet est-il dû aux variations des pertes par hystérésis et Foucault, qui aux fortes charges améliorent le facteur de puissance. Et d'ailleurs celui-ci est bien peu défini en général, et sa constance ainsi remarquée sur telle ou telle machine est peut-être due simplement à l'effet des harmoniques qui interviennent dans la valeur de ce facteur.

M. Heyland paraît cependant exagérer le rôle de ces harmoniques quand il leur attribue la vertu de changer complètement les phénomènes produits par les shunts. Dans un article de l'Industrie électrique il considère que la fréquence du courant commuté sous les balais étant de l'ordre de 1 000 à 2 000 s'oppose à la fermeture du rotor sur le réseau. C'est là encore un trompe-l'œil car le courant de commutation, relatif à la section sous le balai, n'a rien à voir avec l'écoulement des courants arrivant des autres sections à ce balai, et personne n'a mis en doute que les shunts recevaient l'extra courant de la section commutée. C'est un petit phénomène local qui ne change rien à l'ensemble. Dans un article plus récent

de l'*Elektrotechnische Zeitschrift*, M. Heyland met en cause d'autres harmoniques, produites par l'inégale répartition des courants polyphasés dans un anneau, déjà signalée par Goerges. Par exemple dans un anneau diphasé à quatre balais, le courant entre deux balais voisins passe par zéro quatre fois par période, ce qui indique une forte harmonique 2. De même on trouverait une forte harmonique 3 dans le cas de courants triphasés. Mais ces variations harmoniques importantes qui n'existent pas dans les moteurs à cage d'écureuil, sont-elles si importantes que le croit M. Heyland, et sont-elles si bien étouffées qu'il le suppose par ses shunts au cinquième ? On doit en douter, et en tout cas, on ne peut admettre son

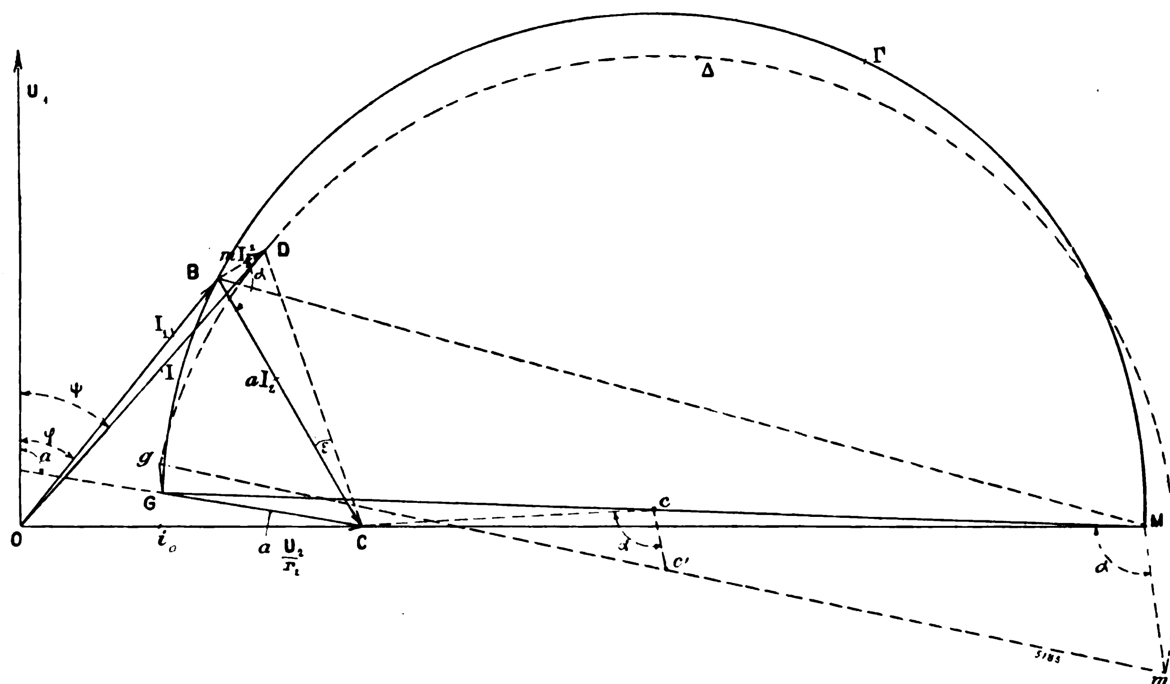


Fig. 17. — Diagramme du courant total.

appréciation que ces harmoniques rencontrent dans l'enroulement des self-inductances « énormes » devant lesquelles les petites forces électromotrices des courants d'induction sont absolument négligeables. Tout le monde sait en effet qu'à la fréquence des courants induits dans le rotor, la réactance est faible et de l'ordre de grandeur de la résistance ohmique, et le fait de doubler la fréquence pour avoir le terme harmonique 2 du rotor double simplement la réactance et ne lui donne pas pour autant une importance prépondérante. Il est donc vraisemblable qu'avec des shunts au cinquième les harmoniques ne sont pas considérablement plus étouffées dans le moteur Heyland que dans le moteur Goerges, bien qu'en principe tout le monde soit d'accord pour reconnaître que cet étouffement serait désirable ; il ne serait réalisé que si la résistance des shunts était très réduite, mais alors l'injection de courant par les balais deviendrait irréalisable.

La meilleure preuve du reste que M. Heyland ne donne à ses shunts qu'une conductibilité trop faible pour pouvoir les assimiler à une cage d'écureuil, c'est qu'il déclare quelques lignes plus loin que l'injection du courant par les balais accroît de 40 à 50 p. 100 le pouvoir de surcharge. Une autre preuve palpable également c'est que son moteur ne démarre pas sous charge sans être fermé par des bagues sur des résistances extérieures, et que par

conséquent les résistances des shunts sont bien supérieures aux résistances de démarrage donnant le couple maximum, lesquelles sont, comme on le sait, bien supérieures aussi à la résistance de fermeture d'une cage d'écureuil.

L'assimilation du rotor Heyland à un rotor en cage d'écureuil, bien que fort séduisante et habilement présentée, ne repose donc que sur une apparence superficielle et fictive.

Ce qu'il y a de plus curieux dans les méthodes de M. Heyland, c'est l'excitation par courants monophasés, mais elle s'explique encore avec facilité sans faire intervenir les shunts. Il suffit de remarquer qu'un courant alternatif monophasé tend, suivant le théorème de M. Maurice Leblanc, à produire deux champs tournants en sens inverses, et est par conséquent équivalent à deux systèmes de courants polyphasés ayant des sens de rotation différents. L'un d'eux, celui dont le sens de rotation est le même que celui de l'induit, se comporte comme dans le moteur Goerges, et par conséquent, aux environs du synchronisme, ne rencontre qu'une réactance presque nulle et donne un champ presque fixe par rapport au noyau du rotor, l'autre dont le sens est inverse, tend à produire un champ tournant en sens opposé dont la vitesse par rapport au rotor tournant est donc double de la vitesse de synchronisme. A circuit du stator ouvert, la réactance opposée à ces courants fictifs étant très grande à cette fréquence, le champ tournant inverse est à peu près nul; à circuit du stator fermé il est étouffé par les courants induits (en court-circuit sur le réseau) qu'il développe dans ce stator avec une fréquence presque double de la fréquence du réseau. Il est donc bien inutile d'invoquer en cette affaire les shunts qui ne servent à rien alors que l'excitation de ces moteurs par courants monophasés tient uniquement au phénomène général que produit le collecteur [1].

Les conclusions que je viens de formuler ne sont donc pas modifiées.

Diagramme du courant total (fig. 17). — Jusqu'ici nous avons représenté sur le diagramme les choses considérées au point de vue du stator principalement, et le courant secondaire rotorique n'a figuré que par ses ampères équivalents γI_2, relativement au champ produit par le stator. Cela suffit tant qu'on considère seulement les régimes voisins du synchronisme, car l'énergie prise par le rotor n'est alors, et sous forme de courant purement watté, qu'une infime fraction de l'énergie totale, et ne constitue qu'une dépense d'excitation presque négligeable à côté de l'énergie prise par le stator. Il peut en être autrement quand on s'écarte beaucoup du synchronisme : d'une part l'énergie échangée entre le rotor et le stator croît très vite avec le glissement, d'autre part le courant rotorique peut être fort décalé par rapport à la force électromotrice du réseau, et sa composante déwattée peut être du même ordre de grandeur que celle du courant statorique.

Il convient donc de considérer en général le courant total fourni par le réseau aux deux organes du moteur, en ajoutant dans ce but le courant rotorique au courant statorique.

Pour faire cette addition, on doit faire subir une double opération au vecteur du courant rotorique :

1° Le réduire dans le rapport de transformation du transformateur ou régulateur qui alimente le rotor. Soit *m* ce rapport, égal au quotient du nombre des spires à basse tension

[1] Postérieurement à la rédaction de mon précédent mémoire, M. Heyland paraît avoir lui-même reconnu le rôle insignifiant de ses shunts au point de vue du fonctionnement général du moteur, car il vient de décrire, dans un récent article de l'*Elektrotechnische Zeitschrift* (19 mars 1903) la suppression totale ou partielle des liaisons entre les barres du collecteur, *comme un perfectionnement*. Que reste-t-il alors du fameux induit en court-circuit et de sa supériorité sur le rotor Gœrges ordinaire ?

par le nombre des spires à haute tension de ce transformateur supposé intercalé entre le réseau et les balais, à l'intensité de courant rotorique I_2 correspond seulement une intensité mI_2 empruntée au réseau. Plus généralement on a $m = \frac{U_2}{U_1}$, comme on l'a dit plus haut.

Ce rapport de transformation dépend donc de la résistance du rotor r_2 et de la tension U_2 qu'on désire réaliser aux balais pour obtenir un vecteur CG donné : il croit avec l'une et l'autre proportionnellement. Si on connait la tension nécessaire pour faire passer dans le rotor des ampèretours équivalents à la production du courant i_0 c'est-à-dire pour réaliser CG = CO, et qu'on appelle m_0 le coefficient de transformation correspondant

$$m_0 = \frac{U_2^0}{U_1},$$

on connaîtra aussitôt le rapport de transformation nécessaire à tout autre régime d'excitation désiré CG en faisant varier m en raison inverse de la tension nécessaire U_2, d'où

$$m = m_0 \frac{\overline{CG}}{\overline{CO}}.$$

2° Amener le courant rotorique corrigé mI_2, ainsi obtenu, dans sa phase relativement au courant I_1 et à la tension du réseau U_1.

A cet effet, il suffit de remarquer qu'au point de vue de la fourniture du courant par le réseau, le décalage de phase du courant mI_2 sera précisément égal au décalage du courant I_2 par rapport à U_2.

Le vecteur mI_2 devra donc être décalé d'un angle égal à α en arrière, en partant du vecteur I_2, car c'est précisément le déplacement qui amènerait U_2 en concordance avec U_1. Finalement on obtient ainsi pour le courant échangé entre le réseau et le rotor le vecteur BD, qu'on peut alors composer avec le vecteur OB du courant statorique, pris à la même tension, et la résultante des deux OD représentera le courant total I rapporté à la tension U_1 aux bornes du stator. L'angle de OD par rapport à U_1 sera le décalage effectif ψ du courant total du moteur par rapport à la tension de distribution.

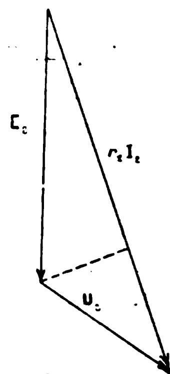
Supposons qu'on se soit fixé une certaine excitation (c'est-à-dire un certain U_2 et un certain a) représentée par le vecteur GC et qu'on fasse sans le modifier fonctionner le moteur à des charges variées ; à chaque position du point B sur son cercle correspondra un point D situé sur un rayon vecteur issu aussi de C, mais décalé d'un angle BCD = ε en même temps que modifié dans le rapport $\frac{CD}{CB} = \frac{1}{m}$. Ce rapport est constant, aussi bien que l'angle BCD, par raison de similitude. Le lieu du point D sera donc lui aussi un cercle Δ dont le diamètre gm sera réduit dans le rapport constant $\frac{1}{m}$, et décalé du même angle ε. On le tracera par exemple en appliquant aux deux extrémités du diamètre du cercle Γ la transformation générale des points B en points D. Les deux points m et B ainsi obtenus sont les extrémités du nouveau cercle Δ, et on remarquera que gG est un segment toujours parallèle à U_1.

Pour chaque grandeur et direction de l'excitation GC, on obtiendra un cercle Δ de ce genre ; on connaîtra donc aisément la loi de variation du courant total, ainsi que les valeurs des courants composants statorique et rotorique. En particulier, les points où ce cercle coupera l'axe OU_1 (s'il le coupe) indiqueront les points vrais de décalage nul ($\cos \psi = 1$).

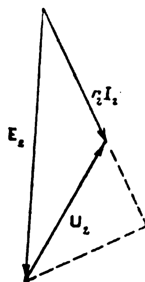
On remarquera que, si le point G est sur l'axe OU_1 il en sera de même du point g. Par

conséquent (comme cela est du reste évident vu l'absence de force électromotrice induite rotorique), il suffit lorsqu'on marche au synchronisme, c'est-à-dire au point G, d'annuler le décalage du courant statorique pour obtenir un décalage nul du courant total, tandis qu'en régime asynchrone la première condition n'entraîne pas la seconde comme corollaire.

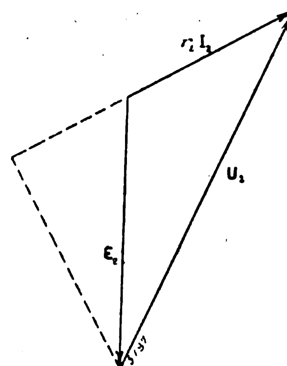
Echanges d'énergie entre le stator et le rotor (fig. 18). — Nous avons déjà signalé en passant les phénomènes dont le rotor est le siège quand la force électromotrice qu'y fait naître



Moteur simple transformant de l'énergie en travail seulement par le stator et consommant de l'énergie dans le rotor.

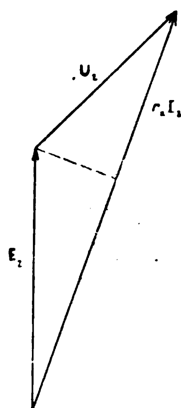


Moteur différentiel transférant au réseau par le rotor une partie du travail reçu du stator.

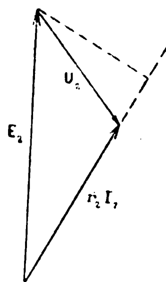


Génératrice différentielle, le rotor produit du travail aidant à la rotation.

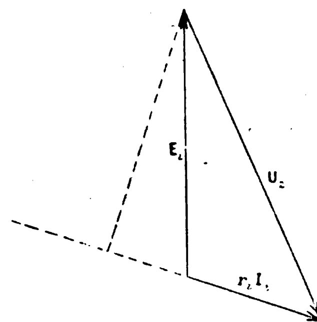
Fig. I, II, III. — Vitesse inférieure au synchronisme ($\omega < \Omega$).



Génératrice simple : production d'énergie par le stator et consommation d'excitation par le rotor.



Génératrice double : production d'énergie par le stator et par le rotor.



Moteur double transformant de l'énergie en travail au rotor et au stator.

Fig. IV, V, VI. — Vitesse supérieure au synchronisme ($\omega > \Omega$).

Fig. 18. — Schéma résumé des six cas principaux de fonctionnement au point de vue de l'emploi de l'énergie.

le glissement est plus ou moins opposée à celle qu'on applique aux balais. Si la première surpasse la seconde, on conçoit qu'il y ait refoulement du courant, et par suite de l'énergie, du stator au réseau par l'intermédiaire du rotor.

Un phénomène inverse se produira si on surexcite le rotor de façon que la force électromotrice dans le stator tende à dépasser celle du réseau; il se produira alors un refoulement d'une partie de l'énergie du rotor au réseau par l'intermédiaire du stator.

Les deux cas les plus simples qui sont les seuls auxquels d'autres auteurs aient fait allu-

sion jusqu'ici, à savoir production de travail mécanique aux dépens de l'énergie électrique fournie par le réseau au stator et d'une faible dépense d'excitation dans le rotor, et production d'énergie par le stator au moyen du travail mécanique fourni à l'arbre et d'une petite dépense d'énergie fournie au rotor, ne sont donc en réalité que deux cas particuliers d'un fonctionnement beaucoup plus général.

Il convient donc maintenant d'envisager le problème dans toute sa complexité et de classer les divers cas qui peuvent se présenter au point de vue des transformations et des échanges d'énergie.

Classification des divers cas de fonctionnement d'après les énergies en jeu. — Ce classement se fera aisément par l'étude des valeurs relatives et des phases des forces électromotrices et du courant du rotor, en complétant ce que nous en avons dit plus haut.

Le vecteur du courant (que nous représenterons ici par le vecteur proportionnel $r_2 I_2$ qu'on obtient en le multipliant par la résistance équivalente d'un circuit du rotor) est en phase avec la résultante de la force électromotrice induite par le glissement et de la force électromotrice injectée aux balais. Le vecteur $r_2 I_2$ est donc en grandeur et phase le troisième côté du triangle obtenu en portant les valeurs E_2 et U_2 bout à bout. Suivant les directions (ou phases) relatives et suivant les grandeurs relatives de E_2 et U_2, il ne peut se présenter que 6 cas distincts que nous représentons concrétement par les figures I à VI de la figure 18.

Ces cas se divisent tout naturellement en deux groupes suivant le sens de la force électromotrice, qui dépend du signe du glissement.

Suivant les mêmes conventions de signes que dans tout ce qui précède, nous considérons comme positive la force électromotrice induite par un glissement positif, c'est-à-dire par une vitesse inférieure au synchronisme. Le vecteur E_2 représentatif est alors dirigé vers le bas comme nous l'avons choisi au début de notre diagramme.

Un vecteur dirigé vers le haut représentera au contraire une force électromotrice négative induite par un glissement négatif, correspondant à une vitesse supérieure au synchronisme.

Dans le premier cas la force électromotrice tend à s'opposer plus ou moins à l'entrée du courant, si on ne décale pas les balais, et au contraire à favoriser l'accès du courant dans le second cas.

Le courant sera considéré comme positif s'il fait pénétrer de l'énergie du réseau dans le moteur, et comme négatif s'il en fait sortir. Nous nous plaçons ici en effet au point de vue moteur et non générateur.

Les cas de marche au-dessous du synchronisme sont représentés par les trois figures I, II, III, dans lesquelles le vecteur E_2 est dirigé vers le bas.

Dans la première les projections de E_2 et U_2 sur I_2 sont toutes deux de même sens que I_2 et par suite positives par rapport à I_2. Il y aura donc travail des deux forces électromotrices dans le même sens, qui est celui d'une consommation d'énergie électrique. La machine est un vrai *moteur* simple transformant dans le stator de l'énergie électrique en travail mécanique (ou échauffement ohmique, que nous englobons pour simplifier avec le travail mécanique dont il perd une partie), et en échauffement dans le rotor.

Si, comme l'indique la seconde figure, on relève le vecteur U_2 vers le haut, il arrivera un moment où il sera perpendiculaire à I_2, ce qui correspond à une énergie nulle envoyée dans le rotor, puis ensuite la projection de U_2 sur I_2 devenant opposée à I_2, il y a refoulement d'une partie de l'énergie au réseau par le rotor. Le moteur reste moteur mais avec récupération partielle d'énergie, c'est-à-dire *moteur différentiel*. Il en est ainsi tant que la projection de U_2 sur I_2 est plus petite que celle de E_2 sur I_2.

Quand ces deux projections sont égales, la machine n'est qu'un filtre d'énergie sans production ni dépense de travail (en négligeant l'énergie toujours perdue par les échauffements, hystérésis et Foucault). Si U_2 continue à augmenter la machine devient génératrice, bien que marchant toujours au-dessous du synchronisme, comme le montre la figure III. Mais l'énergie du stator provient en partie de celle fournie au rotor. Il y a donc échange d'énergie, et non pas fonctionnement normal en génératrice; c'est une génératrice *différentielle.*

En définitive, au-dessous du synchronisme, il peut y avoir marche en moteur franche, ou deux cas d'échange d'énergie, que nous pouvons caractériser d'un mot en les appelant fonctionnements différentiels. On les reconnaît à ce fait que I_2 est en opposition (totale ou partielle) par rapport à U_2 ou à E_2 : dans le premier cas la machine est moteur différentiel, dans le second cas générateur différentiel.

Les mêmes critériums permettent de définir de même les trois cas relatifs à des vitesses supérieures au synchronisme (fig. 18, 4, 5 et 6).

Dans le premier, il y a dépense d'énergie dans le stator. La machine est donc un *générateur simple,* débitant du courant au prix d'une certaine dépense d'excitation. Quand le vecteur U_2 devient perpendiculaire à I, l'excitation se fait toute seule par les courants induits du rotor sans intervention d'énergie extérieure, tout comme dans une génératrice asynchrone Leblanc à spires fermées.

Dans le second cas, U_2 vient en opposition partielle à I_2, mais il est plus petit que E_2, il y a donc refoulement d'énergie du rotor au réseau, en même temps que du stator au réseau. La machine est *doublement génératriee.* Si au contraire U_2 devient plus grand, et que sa projection sur I_2 dépasse celle de E_2 comme dans la troisième figure, I_2 devient opposé à E_2, et E_2 est plus petit que U_2, par conséquent il y a production de travail mécanique par le rotor au moyen de l'énergie que lui fournit le réseau. Le courant I_2 ayant changé de direction par rapport aux deux cas précédents, on en conclut que la machine est également motrice du côté du stator, et par conséquent qu'elle joue le rôle de *moteur double*, transformant dans ses deux organes de l'énergie électrique en travail mécanique.

(*A suivre.*)

A. Blondel.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

***Sur la réaction d'induit des alternateurs*, par C. F. Guilbert.** — *Electrical World and Engineer,* octobre, novembre et décembre 1902.

III. — Applications numériques

Dans les deux articles précédents [1], l'auteur a donné une méthode générale pour la prédétermination des caractéristiques en charge d'un alternateur. Pour terminer son étude il montre par quelques exemples numériques quel est le degré d'exactitude qu'on obtient en employant la méthode que nous avons indiquée.

M. Guilbert a appliqué sa méthode à un grand nombre de machines dont il avait fait lui-même les essais. Il ne choisit cependant pas une de ces machines comme exemple numérique destiné à montrer la supériorité de la méthode de façon à ne pas donner lieu à une critique bien naturelle pour des résultats d'essais non

[1] Voir *Éc. Élect.*, t XXXIV, p. 356 et 413.

publiés, et par suite sujets à revision pour les besoins de la cause. C'est, qu'en effet, la concordance des résultats a été dans la plupart des cas tellement satisfaisante qu'on pourrait facilement supposer qu'elle n'a été obtenue qu'après quelques tâtonnements convenables.

L'auteur a donc préféré chercher des vérifications plus probantes et il ne pouvait mieux s'adresser qu'à des résultats d'essais publiés d'une façon assez complète, c'est-à-dire avec les dimensions principales des machines et les données d'enroulements de façon à pousser l'étude de cet exemple aussi loin que possible.

De pareils exemples, à part ceux que nous avons vus publiés par M. Guilbert lui-même, ne sont pas très nombreux dans la littérature technique. Beaucoup de résultats d'essais ont bien été donnés par divers auteurs, mais ces résultats n'ont généralement pas été accompagnés des dessins des machines essayées, ni de leurs données d'enroulement.

Le Konstruktionstafeln für den Dynamobau du professeur E. Arnold lui ont cependant fourni un exemple sérieux sortant d'une des meilleures maisons de construction du monde entier : la maison Brown, Boveri et C[ie], de Baden-Baden.

Le professeur E. Arnold publie en effet, dans son important travail, les plans et coupes ainsi que les résultats d'essais : caractéristiques à vide et en court-circuit et mesures en charge d'une des machines de 1 500 kilovolts-ampères installées à Paderno.

Avant d'appliquer son diagramme (fig. 1) à cet exemple, l'auteur donne quelques exemples de prédétermination de la caractéristique en court-circuit de quelques-uns des alternateurs de l'Exposition et qui ont été étudiés ici-même, ceux pour lesquels on peut être certain que les *résultats d'essais* communiqués ont été réellement relevés.

I. — Prédétermination de la caractéristique en court-circuit. — La prédétermination de la caractéristique en court-circuit, comme sa détermination sur une machine existant, n'offre plus qu'un intérêt relatif, ainsi que nous l'avons montré au cours de cette étude, car c'est la caractéristique en courant déwaté qui devrait lui être préférée.

Toutefois, comme la caractéristique en court-circuit est facile à déterminer dès qu'on connaît la force magnétomotrice de l'induit et la force électromotrice de self-induction dues aux fuites magnétiques, il n'est pas sans intérêt de le faire à titre de vérification simple de la formule magnétomotrice.

Il n'existe pas encore à l'heure actuelle une formule bien rigoureuse pour la détermination

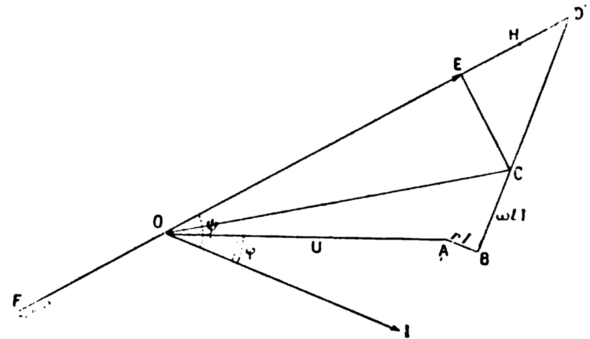


Fig. 1.

de la force électromotrice de fuite de l'induit d'un alternateur, soit pour la marche en charge, soit pour la marche en court-circuit. Toutes les formules publiées jusqu'ici font, outre des coefficients numériques déduits de mesures expérimentales faites sur des machines existantes de même type.

L'auteur s'est contenté pour obtenir le nombre d'ampèretours nécessaires pour créer un flux correspondant à ces fuites pour le fonctionnement en court-circuit d'admettre que ce flux varie de 10 à 20 p. 100 du flux à vide suivant le cas, c'est-à-dire suivant la largeur de la machine et le nombre d'ampèretours dans l'induit.

Cette détermination de la caractéristique en court-circuit sera donc simplement une première approximation, mais largement suffisante, comme nous allons le voir.

1° Alternateur de 1 400 kilovolts-ampères du Creusot. Induit à 2 encoches par pôle et par phase avec 6 conducteurs par perforation.

La formule

$$F_i = 0{,}588\ N_1 I_0 \frac{a}{b} \sin \frac{b}{a} \frac{\pi}{2}$$

donne ici pour

$$N_1 = 12 \qquad I_0 = 156\sqrt{2} \quad a = b$$

$$F_i = 0{,}588 \times 12 \times 156\sqrt{2} = 1\,550.$$

Admettons que $\frac{r}{R_a} = 0{,}03$.

La force électromotrice étant prise égale à 15 p. 100 pour les induits dentés correspond à 10 p. 100 ampèretours, d'où une force magnétomotrice en court-circuit de :

$$1\,600 + 1\,050 = 2\,650 \text{ AT (ampèretours).}$$

L'expérience donne :

$$57 \times 44,5 = 2\,540 \text{ AT}$$

2° Alternateur de 1 000 kilovolts-ampères de MM. Lahingu et C[ie] de Francfort-sur-le-Mein.

Induit à 2 encoches par pôle et par phase avec 6 conducteurs par perforation.

On a

$$N_1 = 12, \quad I_0 = 115\sqrt{2}, \quad a = b$$

d'où

$$F_i - 0,588 \times 12 \times 115\sqrt{2} = 1\,150$$

Avec une force électromotrice de fuite de 15 p. 100 (soit 450 AT), on a encore :

$$1\,200 + 450 = 1\,650 \text{ AT.}$$

L'expérience donne

$$49 \times 33,5' = 1\,640 \text{ AT.}$$

3° Alternateur de 760 kilovolts-ampères de la Société Electricité et Hydraulique (Heyland).

Induit à 2 trous par pôle et par phase avec 3 conducteurs par trou.

On a

$$N_1 = 6 \quad I_0 = 200\sqrt{2} \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0,588 \times 6 \times 200\sqrt{2} = 1\,000 \text{ AT.}$$

En prenant pour les machines à trous une force électromotrice de fuite de 20 p. 100 de la tension normale soit (900 AT), on a :

$$1\,030 + 1\,050 = 2\,080 \text{ AT.}$$

L'expérience donne :

$$36 \times 63,5 = 2\,280$$

4° Alternateur de 1 200 kilovolts-ampères de la Société l'Eclairage Electrique.

Induit à 2 trous par pôle et par phase avec 5 conducteurs par trou.

On a :

$$N_1 = 10 \quad I_0 = 138\sqrt{2} \quad a = b$$

d'où :

$$F = 0,588 \times 10 \times 138\sqrt{2} = 1\,150 \text{ AT}$$

Avec une force électromotrice de 20 p. 100 (650 AT.), on a :

$$1\,200 + 650 = 1\,850 \text{ AT.}$$

L'expérience donne :

$$40 \times 43,5 = 1\,740$$

5° Alternateur de 1 760 kilovolts-ampères de MM. Brown, Boveri et C[ie]

Induit à 2 trous par pôle et par phase avec 6 conducteurs par trou.

On a

$$N_1 = 12, \quad I_0 = 170\sqrt{2}, \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0,588 \times 12 \times 170\sqrt{2}$$

d'où

$$F_i = 1\,700$$

Avec une force électromotrice de fuite de 20 p. 100 (1 300 AT), on a :

$$1\,750 + 1\,300 = 3\,050 \text{ AT}$$

L'expérience conduit à :

$$60 \times 44,5 = 2\,670$$

6° Alternateur de 868 kilovolts-ampères de MM. Grammont et C[ie] (M. Routin).

Induit à un seul trou par pôle et par phase avec 7 conducteurs par trou.

On a :

$$N_1 = 7 \quad I_0 = 207\sqrt{2} \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0,608 \times 7 \times 207\sqrt{2} = 1\,250 \text{ AT}$$

Avec une force électromotrice de fuite de 20 p. 100 (850 AT), on a :

$$1\,300 + 850 = 2\,150 \text{AT}$$

L'expérience donne :

$$34 \times 69,5 = 2\,360 \text{ AT}$$

7° Alternateur de 2 000 kilovolts-ampères de MM. Siemens et Halske de Berlin.

Induit à 3 encoches par pôle et par phase.

On a :

$$N_1 = 3 + \quad I_0 = 255\sqrt{2} \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0{,}584 \times 3 \times 525\sqrt{2}$$
$$= 1\,300$$

Avec une force électro motrice de fuite de 10 p. 100 (750 AT), on a :

$$1\,350 + 750 = 2\,100 \text{ AT}.$$

L'expérience donne :

$$39{,}5 \times 48 = 1900$$

8° Alternateur de 1 375 kilovolts-ampères d'Arlikon.

Induit avec une seule encoche par pôle et par phase et 11 conducteurs par encôche.

On a

$$N_1 = 11, \quad I_0 = 145\sqrt{2}, \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0{,}608 \times 11 \times 145\sqrt{2} = 1\,450 \; at$$

Avec une force électromotrice de fuite de 15 p. 100 (600 at) on a :

$$1\,500 + 600 = 2\,100 \text{ AT}$$

L'expérience donne :

$$33 \times 53{,}5 = 1\,770 \text{ AT}$$

9° Alternateur de 800 kilovolts-ampères de la Cie de Fives-Lille.

Induit à 2 encoches par pôle et par phase et 2,5 conducteurs par encoche.

On a :

$$N_1 = 5, \quad I_0 = 210\sqrt{2}, \quad a = b$$

d'où :

$$F_i = 0{,}588 \times 5 \times 210\sqrt{2}$$
$$= 875 \text{ AT}$$

Avec une force électromotrice de fuite de 15 p. 100 (500 AT), on a :

$$900 + 500 = 1\,400$$

L'expérience donne :

$$\frac{155 \times 15}{2} = 1\,160 \text{ AT}$$

10° Alternateur de 780 kilovolts-ampères de MM. Holben et Cie.

Induit à une seule encoche par pôle et par phase et 6 conducteurs par encoche.

On a :

$$N_1 = 6, \quad I_0 = 150\sqrt{2}, \quad a = b$$

d'où

$$F_i = 0{,}608 \times 6 \times 150\sqrt{2}$$
$$= 775$$

Avec une force électromotrice de fuite de 15 p. 100, on a :

$$800 + 450 = 1\,250 \text{ AT}$$

L'expérience donne :

$$22{,}5 \times 59{,}5 = 1\,340 \text{ AT}$$

Les erreurs relatives sont en général beaucoup moins grandes quand on détermine aussi exactement que possible la force électromotrice des fuites au lieu de se la donner à priori.

II. — Prédétermination des caractéristiques en charge. — Comme nous l'avons dit plus haut, l'auteur applique son diagramme à la détermination de quelques points de régime d'un des alternateurs Brown, Boveri et Cie de la station génératrice de Paderno.

Les résultats publiés ne contiennent pas malheureusement la caractéristique en courant déwatté, on est donc obligé de se contenter de la caractéristique en court-circuit pour déterminer la force électromotrice de fuite de l'induit en calculant les contre-ampèretours induits par la formule indiquée précédemment.

La force électromotrice obtenue ainsi sera un peu plus grande que celle que l'on obtiendrait avec la caractéristique en courant déwatté, mais la réduction de 20 p. 100 environ suffira pour tenir compte de l'influence de la résistance des circuits magnétiques pour le flux normal [1].

Calcul de la force magnétomotrice de l'induit. — Nous avons pour la force magnétomo-

[1] S'il s'agissait de prédéterminer la caractéristique en charge avec un faible facteur de puissance, cette façon de déduire la force électromotrice de fuite de la caractéristique en court-circuit serait peu rigoureuse, elle peut toutefois convenir assez bien dans notre cas, le facteur de puissance ne descendant pas au-dessous de 0,8.

trice exprimée en ampèretours :

$$F_i = 0{,}608 \sin \frac{b}{a} \frac{\pi}{2} NI\sqrt{2} \sin \psi.$$

On peut faire ici $a = b$ et $\Psi = 90°$; d'où :

$$F_i = 0{,}608 \times 30 \times 60 \times 1{,}414$$
$$= 1\,550 \text{ AT}$$

Evaluons le rapport $\frac{r}{R_a}$ à 0,03 en court-circuit.

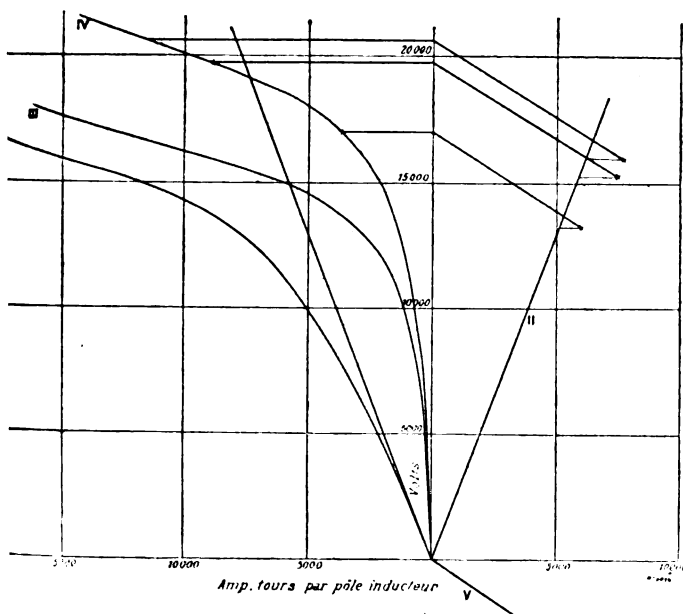


Fig. 2.

Nous aurons pour la force magnétomotrice inductrice destinée à équilibrer la force magnétomotrice induite.

$$1\,550 \times 1{,}03 = 1\,600 \text{ AT.}$$

Calcul de la force électromotrice de fuite. — Comme d'autre part, le courant d'excitation relevé de 39,2 ampères correspond à un nombre d'ampèretours égal à :

$$39{,}2 \times 72{,}5 = 2\,840 \text{ AT.}$$

la différence :

$$2\,840 - 1\,600 = 1\,240$$

correspond à une force électromotrice de fuite de :

2 600 volts ou 18 p. 100

On peut donc adopter la valeur de :

$$\frac{18}{1{,}2} = 15 \text{ p. } 100$$

Détermination de la caractéristique de l'induit et de l'entrefer. — La saturation étant assez faible, la caractéristique de l'induit comprenant comme nous l'avons dit l'induit, l'entrefer et la partie des pièces polaires traversée par le flux utile sera une droite.

La figure 2 représente en I sur la gauche la caractéristique à vide ; cette caractéristique va nous servir, une fois calculée la caractéristique de l'induit, à déterminer la caractéristique de l'inducteur seul.

Pour déterminer la caractéristique de l'induit, il nous suffit d'en avoir un point.

La force électromotrice à vide est donnée par la formule

$$E = k \times f \times N \times 2p \times \Phi \times 10^{-8}$$

Le facteur de forme k peut être ici pris égal à 2,48, c'est du reste le chiffre donné par M. E. Arnold lui-même.

Pour 14 500 volts composés ou 8 400 volts par phase, le flux nécessaire sera donc de :

$$\Phi = \frac{8\,400}{2{,}48 \times 42 \times 30 \times 38} = 9{,}6 \times 10^6.$$

L'induction moyenne sur toute la surface occupée par un pôle de l'induit est donc :

$$\mathfrak{B}_{moy} = \frac{9{,}6 \times 10^6}{50 \times 46} = \frac{9{,}6 \times 10^6}{2\,300} = 4\,200 \text{ Gauss}$$

L'entrefer moyen supposé réparti sur toute la surface d'un pôle est d'autre part donné par :

$$\frac{46 \times 50}{\delta_{moy}} = \frac{25 \times 50}{1} + \frac{4}{\pi} \text{Log} \left(\frac{2}{\pi} \frac{h}{\delta} + 1 \right) \times 50$$

où δ_{moy} est l'entrefer moyen, δ l'entrefer réel sous le pôle et h la hauteur de l'épanouissement ($h = 9$ cm).

On en déduit :

$$\delta_{moy} = \frac{46}{25 + 3{,}56} = \frac{46}{28{,}56} \; 1{,}62$$

Le nombre d'ampèretours nécessaires pour l'entrefer est donc de :

$$\frac{4\,200 \times 1{,}62}{1{,}26} = 5\,400 \text{ AT}$$

Pour l'induit, les dents et les pièces polaires, on peut compter environ 200 ampèretours, ce qui fait un total de 5 600 ampèretours.

Ce chiffre nous permet de tracer la caractéristique de l'induit sur la partie droite de la figure et d'en déduire ensuite par différence avec la courbe de saturation à vide, la courbe III.

Pour obtenir de cette dernière la caractéristique propre de l'induction, il suffit de multiplier les ordonnées de la courbe III par la valeur correspondante du coefficient de Hopkinson.

Nous admettrons que ce coefficient reste constant et nous le calculerons par la valeur du flux à vide. Déterminons pour cela la perméance des circuits de fuite correspondant à un seul pôle.

La perméance du circuit de fuite outre les noyaux polaires est en employant une formule simple donnée par M. Wiener (1).

$$P_1 = 2 \frac{\pi \times l \times d}{c + 0{,}3\, d}$$

l étant la hauteur du noyau, *d* son diamètre et *c* la distance moyenne minima entre les 2 noyaux voisins.

On a ici :

$$l = 27 \text{ cm} \quad d = 30 \text{ cm} \quad c = 11 \text{ cm};$$

d'où

$$P_1 = \frac{2\pi \times 27 \times 30}{9 + 9} = 285,$$

Entre les côtés en regard des épanouissements, on a une perméance :

$$P_2 = 4 \frac{52 \times 9}{21} = 90$$

Enfin, entre les côtés non en regard la perméance est :

$$P_3 = \frac{4 \times 12{,}5 \times \frac{9}{2}}{21 + 12{,}5 \frac{\pi}{2}} = 10$$

La perméance totale est donc de :

$$285 + 90 + 10 = 385$$
$$= 400 \text{ environ}$$

(1) *Pratical calculation of Dynamo-electric Machines* (2e édition, 1902).

Le coefficient d'Hopkinson a par suite pour valeur en :

$$V = \frac{\Phi_u \times \Phi_a}{\Phi_u} = \frac{9{,}6 \times 5\,600 \times 400 \times 10^{-6}}{9{,}6} = 1{,}24$$

La caractéristique de l'inducteur est représentée en IV sur la figure 1. Nous pourrons également représenter en V la droite correspondant aux fuites de l'induit laquelle doit être telle que, pour une même force magnétomotrice, le rapport du flux de fuite aux flux dans l'induit soit égal à 0,24.

Fig. 3.

Détermination des courants d'excitation en charge. — Nous allons maintenant calculer à l'aide des diagrammes et de ces courbes, les courants d'excitation correspondant aux différents régimes de marche relevés expérimentalement.

1° Le premier point relevé correspond au régime suivant :

Tension aux bornes = 13 500 volts
Courant par phase = 64,5 ampères
Facteur de puissance = 1.

Si nous admettons que la résistance de l'induit y compris l'effet des courants de Foucault est de 2 ohms par phase environ, la chute ohmique correspondante sera de 200 volts environ.

Le diagramme des tensions (fig. 3) se construit alors facilement ; on a :

$$OA = 13\,500 \text{ volts}, AB = 200, BC = 2\,170 \times \frac{64{,}5}{60} = 2\,330$$

Le flux traversant réellement l'induit correspond à une tension : OC = 13 900 volts et qui exige pour l'induit et l'entrefer une force magnétomotrice de :

$$OC_1 = 5\,350 \text{ AT}$$

Si nous portons ensuite parallèlement à BC un vecteur :

$$C_1D = 1\,650\,(^1) \times \frac{63,5}{60} = 1\,750 \text{ AT}$$

La force magnétomotrice résultante est :

$$OD = 5\,900 \text{ AT}$$

et la différence de potentiel magnétique entre les cornes :

$$OE = 5\,100 \text{ AT}$$

et correspond à un flux utile sortant de l'inducteur capable d'induire une force électromotrice de 13 250 volts.

En ajoutant à ce flux les fuites de l'inducteur pour 5 900 ampèretours par la construction que nous avons donnée, nous trouvons pour l'inducteur une force magnétomotrice de 3 700 ampèretours.

On a donc au total :

$$5\,900 + 3\,700 = 9\,600$$

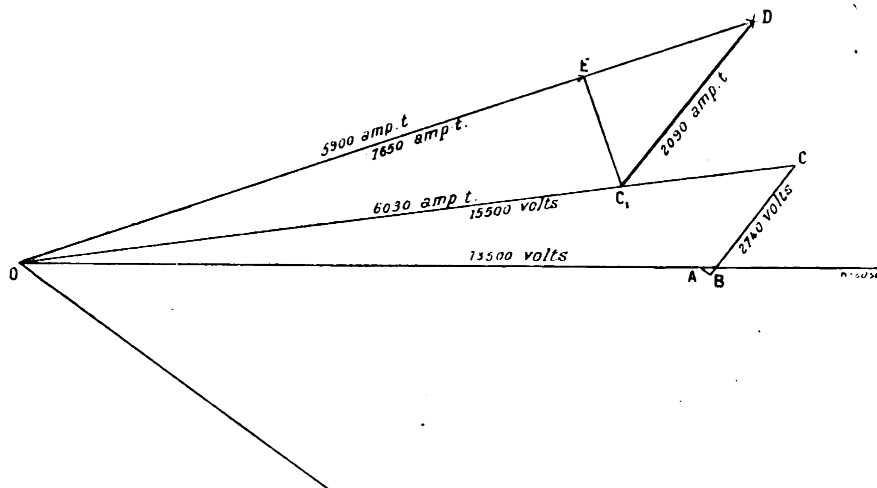


Fig. 4.

Le courant d'excitation est donc de :

$$\frac{9\,600}{72,5} = 132 \text{ ampères}$$

La valeur mesurée était de 135.

2° Le second régime relevé est le suivant :

Tension aux bornes = 13 500 volts.
Courant par phase = 76 volts.
Facteur de puissance = 0,8.

Le diagramme des tensions (fig. 4) donne une tension induite de :

$$OC = 15\,500 \text{ volts}$$

On a :

$$OC_1 = 6\,030 \text{ AT} \quad C_1D = 2\,030 \text{ AT}$$

d'où

$$OD = 7\,600 \text{ AT et } OE = 5\,900 \text{ AT}$$

Ce dernier chiffre conduit par la construction indiquée à une force magnétomotrice de 9 400 ampèretours pour l'inducteur.

La force magnétomotrice totale est donc de :

$$7\,600 + 8\,800 = 16\,400 \text{ AT}$$

et le courant d'excitation correspondant de :

$$\frac{16\,400}{72,5} = 225 \text{ ampères}$$

au lieu de 215 valeur mesurée.

3° Le troisième régime est le suivant :

Tension aux bornes = 14 500 volts.
Courant par phase = 73,5 ampères.
Facteur de puissance = 0,8.

Le diagramme des tensions (fig. 5) donne une tension induite de :

$$OC = 16\,300 \text{ volts}$$

On a :

$$OC_1 = 6\,300 \text{ AT} \quad C_1D = 2\,020 \text{ AT}$$

d'où :

$$OD = 7\,800 \text{ AT et } 6\,150 \text{ AT}$$

(1) Nous prenons pour la valeur du rapport $\frac{r}{R_a}$ avec le flux normal la valeur 0,07.

Ce dernier chiffre conduit par la construction indiquée à une force magnétomotrice de 11 700 ampèretours pour l'inducteur.

La force magnétomotrice totale est donc de :

$$7\,800 + 11\,700 = 19\,500 \text{ AT}$$

et le courant d'excitation correspondant de :

$$\frac{19\,500}{72,5} = 269 \text{ ampères}$$

au lieu de 256 mesurés.

La différence est ici plus grande que pour les deux cas précédents.

En somme ces exemples numériques montrent quelle certitude peut donner cette méthode lorsqu'elle est employée avec toute la rigueur possible et nous ne croyons pas qu'on ait indiqué jusqu'ici de méthode aussi rigoureuse en même temps que d'application aussi commode.

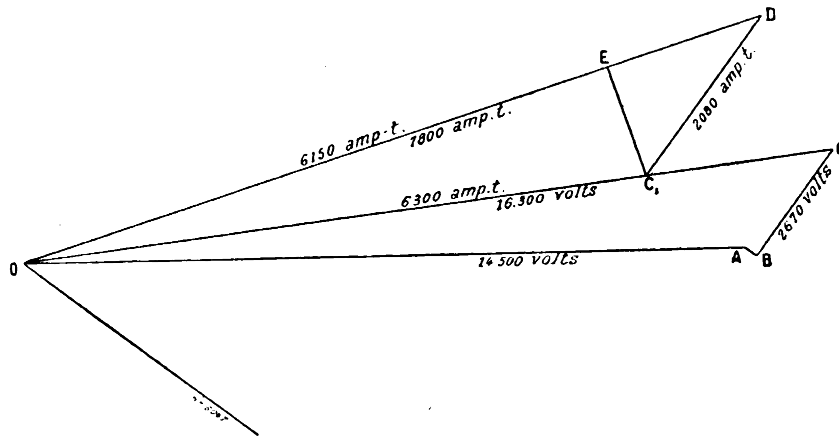


Fig. 5.

Ce procédé de calcul peut donc rendre quelques services aux ingénieurs.

MOTEURS

Etude graphique du groupement en cascade des moteurs à champ tournant, par **Max Breslauer**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 1, 1er janvier 1903.

L'auteur étudie, au moyen du diagramme d'Heyland, le groupement en cascade, appelé aussi groupement en tandem, de deux moteurs à champ tournant, dans lequel le secondaire du premier moteur, au lieu d'être fermé en court-circuit, est connecté borne à borne au primaire du second moteur, ce dernier ayant son secondaire en court-circuit à la façon habituelle.

La figure 1 donne le diagramme d'Heyland appliqué au second moteur : on néglige la dispersion de l'enroulement secondaire et choisit pour sens de rotation des vecteurs le sens des aiguilles d'une montre.

Dans le moteur II, $BD = N_3$ désigne le champ résultant secondaire, $BC = N_2$ le champ résultant primaire, DD'_0 la direction du courant secondaire décalée de $\frac{\pi}{2}$ en retard sur N_3, $CD'_0 = \tau N_2$, τ étant le facteur de dispersion pri-

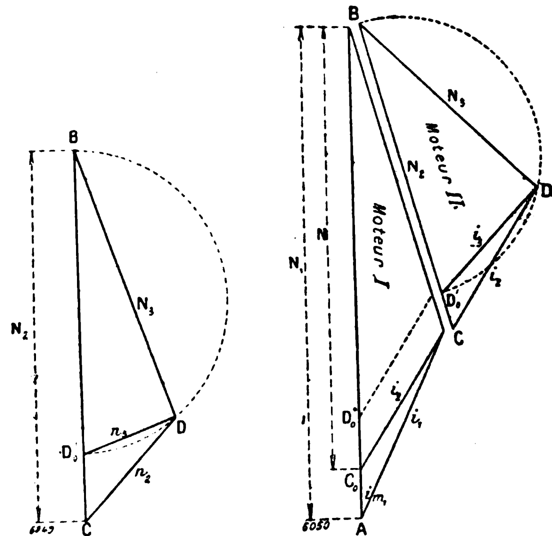


Fig. 1 et 2.

maire (rapport du flux de fuite au flux total engendré par le courant primaire).

On sait, que grâce à un changement d'échelle,

CD peut représenter le courant primaire i_2, DD'_0 le courant secondaire i_3 ; si la tension aux bornes est maintenue constante, le point D décrit un cercle ayant pour diamètre BD'_0, tel que CD'_0 soit égal au courant magnétisant à vide i_{m2} sous la tension donnée et CB à $\frac{i_{m2}}{\tau}$.

Fig. 3.

Le même diagramme est applicable au moteur I ; seulement là, le courant secondaire n'est plus perpendiculaire au flux résultant secondaire, mais fait avec lui un angle obtus.

Dans la figure 2 on retrouve d'abord le diagramme du moteur II, qui conduit à un flux résultant primaire CB $= N_2$. Si on suppose l'enroulement du secondaire du moteur I identique à celui du primaire du moteur II, le flux secondaire résultant du moteur I sera aussi BC (on l'a reproduit parallèlement un peu plus bas pour séparer les diagrammes des deux moteurs). Ceci posé le courant secondaire du moteur I étant égal à i_2 (courant primaire du moteur II) sera porté suivant $CC_0 = DC$ et on obtiendra en BC_0 le champ résultant primaire du moteur I, non compris la dispersion primaire. Pour tenir compte de cette dispersion primaire, il faudra ajouter le segment C_0A égal à τN_1, ce qui donnera la vraie valeur du champ primaire résultant N_1 (τ est ici supposé le même dans les deux moteurs pour simplifier).

Dans le diagramme des courants, on aura $AC = i_1$, et $AC_0 = i_{m1}$ courant magnétisant à vide du moteur I fonctionnant seul sous la tension correspondante au champ N_1.

Cherchons maintenant le lieu des points C du diagramme, quand AB et AC_0 restent constants (tension primaire et facteur de dispersion constants).

L'auteur indique d'abord deux points remarquables :

1° A vide le point C vient en C'_0, tel que $C_0 C'_0 = i_{m2} = (N - i_{m2})\,\tau$, d'où

$$i_{m2} = \frac{\tau}{1+\tau} N = \tau \frac{1-\tau}{1+\tau} N_1 ;$$

2° En court-circuit, le point C vient en M, milieu du segment C_0B.

Ceci posé, il démontre (fig. 3) que la droite i_w est toujours moyenne proportionnelle entre les segments qu'elle découpe sur la droite $C'_0M'_1$ et que par suite le point C décrit un cercle tracé sur C'_0M comme diamètre [1].

La connaissance de ce cercle permet d'étudier facilement tout le fonctionnement des moteurs en cascade : $AC'_0 = i_{m1} + i_{m2}$, représente la somme

(1) Voici la démonstration analytique (voir fig. 3).

Il faut établir que i_w est moyenne proportionnelle entre les deux segments $\left(\frac{N}{2} - i_0\right)$ et $(i_0 - i_{m2})$ ou $\left(i_0 - \frac{\tau}{1+\tau} N\right)$, c'est-à-dire que l'on a l'égalité

$$i_w^2 = \left(\frac{N}{2} - i_0\right)\left(i_0 - \frac{\tau}{1+\tau} N\right)$$

ou, en ordonnant par rapport à i_0 et N,

$$i_w^2 = - i_0^2 + \frac{1+3\tau}{2(1+\tau)} i_0 N - \frac{\tau}{2(1+\tau)} N^2. \quad (1)$$

Pour cela calculons i_w^2. On a

$$i_w^2 + i_0^2 = i_2^2 ;$$

des courants magnétisants i_{m_1} du moteur I seul en fonctionnement normal à vide, i_{m_2} le courant magnétisant du moteur II, somme qui constitue le courant magnétisant à vide du moteur I dans le fonctionnement en cascade. Le cercle de fonctionnement du moteur est devenu plus de deux fois plus petit par le montage en cascade : le coefficient de dispersion apparent a sensiblement quadruplé et le facteur de puissance maximum, qui pour la valeur de $\tau = 0{,}05$ de la figure était de 0,09 en fonctionnement normal, devient ici 0,67.

Le lieu du point D est évidemment un cercle de centre M′ tel que $MM' = i_{m_2}$ et de diamètre égal à $N - 2\, i_{m_2}$.

Les couples des moteurs sont proportionnels :

Pour le moteur II à $i_{w3}\, N_2$, (aire du triangle BCD).
Pour le moteur I à $i_w\, N_1$, (aire du triangle BCA).

L'auteur démontre que ces deux couples sont égaux : ce n'est qu'approximatif, car les aires des deux triangles diffèrent de l'aire d'ailleurs très petite égale à CAC_0 ; on peut dire *grosso modo* qu'ils sont égaux, quelles que soient les conditions de fonctionnement, ce qui est une propriété très importante.

Diagramme simplifié. — On a très sensiblement $C'_0C = i'_2 = i_3$. On peut alors se contenter du petit cercle décrit sur C'_0M de la figure 3, et établir le diagramme suivant la figure 4, qui met en évidence les trois courants i_1, i_2, i_3, le courant wattê primaire i_w et le courant déwatté primaire i_0 (différent de ce qui a été appelé i_0 dans la figure 3) ; C_1B correspond à $\frac{N_3}{2}$ comme CM dans la figure 3.

Fig. 4.

Pour obtenir le couple du second moteur, on peut, suivant le procédé d'Heyland, tenir compte des pertes dans le cuivre, en négligeant le courant magnétisant, prenant pour pertes dans le cuivre $i_1 r_1 + 2\, i_2 r_2$ (les résistances du primaire du moteur II et du secondaire du moteur I étant supposées égales) et retranchant du champ C_1B une longueur correspondante C_1C_2.

---

or

$$i_2^2 = i_0'^2 + i_{w3}^2 = i_0'^2 + (N_2 - i_0')(i_0' - \tau N_2)$$
$$= (1 + \tau)\, N_2\, i_0' - \tau\, N_2^2. \quad (2)$$

D'ailleurs $N^2 = i_2^2 + N_2^2 + 2\, i_0'\, N_2$ (3)

En éliminant i_0' entre (2) et (3), on obtient

$$i_2^2 = N^2 - N_2^2 - \frac{2}{3 + \tau}\,[N^2 - (1 - \tau)\, N_2^2]$$
$$= \frac{1 + \tau}{3 + \tau}\, N^2 - \frac{1 + 3\tau}{3 + \tau}\, N_2^2. \quad (4)$$

D'autre part, on peut écrire

$$N_2^2 = i_w^2 + (N - i_0)^2,$$

et en combinant cette équation avec (4), on obtient (après élimination de i_2)

$$i_w^2 + i_0^2 = \frac{1 + \tau}{3 + \tau}\, N_2 - \frac{1 + 3\tau}{3 + \tau}\, i_w^2 - \frac{1 + 3\tau}{3 + \tau}\,(N - i_0)^2,$$

d'où pour i_w la valeur annoncée dans l'équation (1).

Le lieu des points C_2 est alors un cercle passant par C'_0 et B, et ayant son centre en M_2 ; on détermine ce cercle en prenant un point du cercle C_{2k}, correspondant au court-circuit. Soit AC_k le courant en court-circuit : on choisit C_{2k} tel que le rapport $\frac{C_k C_{2k}}{C_{2k} B}$ soit égal au rapport des résistances $\frac{r_1+2r_2}{r_3}$.

On obtient les glissements g_2 du moteur II en menant de C_k la perpendiculaire à BM_2, et prenant

$$g_2 = \frac{\overline{ss'}}{\overline{sC_k}}$$

Vitesse des deux moteurs. — Supposons d'abord que les deux moteurs soient accouplés mécaniquement sur le même arbre et semblables (même nombre de pôles).

Soit n la vitesse synchrone du premier moteur seul, g_1 et g_2 le glissement de chacun des moteurs, on a [1].

$$n(1-g_1) = ng_1(1-g_2);$$

d'où la relation entre les glissements :

$$g_1 = \frac{1}{2-g_2};$$

Deux moteurs accouplés mécaniquement et groupés en cascade tournent donc à vitesse moitié de leur vitesse normale à vide, et en charge à une vitesse voisine de la moitié, puisque g_2 reste toujours très petit.

On peut établir la formule générale du rapport des glissements, dans le cas où les nombres de pôles sont différents et les vitesses angulaires distinctes (accouplement par engrenage).

Appelons ρ le rapport des nombres de pôles $\left(\rho = \frac{2p_1}{2p_2}\right)$, et u le rapport des diamètres des roues d'engrenage ou rapport inverse des vitesses angulaires $\left(u = \frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1}\right)$, on obtient en écrivant que la vitesse linéaire doit être la même pour les deux moteurs aux dents des engrenages

$$n_1(1-g_1) = n_1 u \rho g_1 (1-g_2);$$

d'où la formule générale

$$g_1 = \frac{1}{1+u\rho(1-g_2)}.$$

Dans cette formule, u peut être négatif, si on fait tourner le second moteur en sens contraire du champ.

On peut ainsi obtenir avec deux moteurs, soit avec des nombres de pôles différents, comme l'a proposé Danielson [1], soit comme le propose l'auteur avec attaque de la transmission par des engrenages de nombres de dents différents, obtenir, disons-nous, quatre vitesses distinctes.

Cherchons, par exemple, les vitesses de synchronisme qu'on peut réaliser avec deux moteurs de même nombre de pôles, pour $u = 0{,}4$ (rapport 4 à 10) ; le moteur I attaquant l'essieu par une roue de diamètre d, le moteur II par une roue de diamètre $2{,}5\,d$.

On obtient les quatre combinaisons :

Moteurs I seul . . . . . Vitesse 100 tours.
Moteur II en opposition tandem avec I ($u = -0{,}4$). Vitesse 66,7 » $g_1 = \frac{1}{1-0{,}4}$
Moteur II seul. . . . . . Vitesse 40 »
Moteur II en cascade ordinaire avec I ($u = +0{,}4$). Vitesse 28,5 » $g_1 = \frac{1}{1+0{,}4}$

Propriétés principales du couplage en cascade. — 1° Dans le cas d'enroulements semblables sur le primaire de II et le secondaire de I, les couples sont sensiblement égaux dans les deux moteurs.

2° Le couple maximum de chaque moteur est inférieur à la moitié du couple maximum en fonctionnement normal et, par suite, la vitesse étant moitié, la puissance maximum du système est inférieure au quart de la puissance maximum du groupe des deux moteurs fonctionnant isolément.

3° Le facteur de puissance est très faible : pour une valeur de $\tau = 0{,}04$, le cas ρ maximum réalisable est égal à

$$\frac{1-4\tau}{1+4\tau} = 0{,}72,$$

valeur sur laquelle il ne faut pas compter dans la pratique.

[1] Cf. Blondel et Dubois. *La Traction Electrique*, t. II, p. 315.

[1] Cf. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIII, p. 656, 1902.

Il en résulte que le groupement en cascade ne deviendra guère utilisable que quand on aura réalisé une bonne compensation du décalage.

4° La loi de dépendance des glissements des deux moteurs est donnée par la formule générale,

$$g_1 = \frac{1}{1 + u\rho\,(1 - g_2)},$$

où :

$$u = \frac{d_1}{d_2} = \frac{\text{diamètre roue dentée de I}}{\text{diamètre roue dentée de II}}$$

$$\rho = \frac{p_1}{p_2} = \frac{\text{nombre de pôles de I}}{\text{nombre de pôles de II}}$$

A. M.

TÉLÉGRAPHIE

Stations mobiles de télégraphie sans fil, système Braun, Siemens et Halske, et leur emploi dans l'armée allemande, par **Arthur Wilke**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 40, 15 janvier 1903.

Une installation volante de télégraphie avec conducteurs est toujours longue et difficile à réaliser, quelque soit le degré d'entrainement du personnel qui l'utilise. A l'armée, l'emploi de ces stations volantes est par suite très limité ; et cependant, maintenant plus que jamais, on a besoin d'un service de renseignements sûr et rapide, entre le commandement et les différents corps qui prennent part aux opérations.

Aussi, la télégraphie sans fil, dès son apparition, a-t-elle attiré l'attention des principales armées européennes et suscité des recherches et des travaux destinés à la rendre utilisable pour ces services de renseignements. Ce sont les résultats obtenus dans cette voie par l'état-major allemand qui font l'objet de l'article de M. Wilke.

L'auteur rappelle d'abord que les premiers essais ne furent guère encourageants ; en particulier, pendant la guerre du Transvaal, les appareils ne semblent pas du tout avoir rendu les services qu'on attendait d'eux ; on se heurta en pratique à des obstacles et à des inconvénients très sérieux, beaucoup plus accentués que dans les communications au-dessus de la mer, et dont les principaux étaient l'insécurité et la très faible portée des transmissions. Malgré ces insuccès, l'importance du résultat à obtenir engagea quand même les chercheurs à persévérer dans leurs travaux, et, en Allemagne en particulier, d'après M. Wilke, le succès aurait répondu à leurs efforts, puisqu'on aurait réussi à construire des stations mobiles qui communiquent avec sécurité à des distances de plus de 100 km. Ces stations ont été installées par la maison Siemens et Halske, d'après le système du professeur Braun.

Les bons résultats sont dus à deux causes principales : une augmentation considérable de la longueur d'antenne et un renforcement de l'action électrique d'après le système de transmission employé.

Dans tous les cas, à terre probablement encore plus que sur mer, la grande longueur d'antenne est un facteur important pour la transmission à grande distance ; dans les stations en question, l'antenne se compose d'un fil conducteur en acier maintenu verticalement par un petit ballon captif ou un cerf-volant.

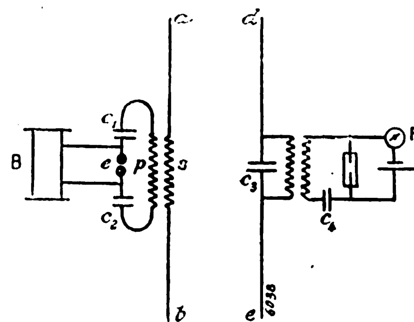


Fig. 1.

Mais une grande longueur d'antenne n'est pas suffisante pour assurer des communications certaines et à grande distance. Il faut en outre mettre en jeu une grande quantité d'énergie électrique, et l'utiliser dans les meilleures conditions possibles pour le but qu'on se propose. L'auteur cherche alors à faire voir d'une façon élémentaire que le système de transmission Braun permet de satisfaire à ces conditions.

Ce mode de transmission, déjà analysé dans cette revue [1], consiste essentiellement dans l'accouplement par induction de deux systèmes vibratoires : l'un, fermé, composé de condensateurs chargés par la bobine, de l'étincelle et du primaire d'un transformateur ; l'autre, ouvert,

[1] Voir notamment *L'Éclairage Électrique* du 1er février 1902 : *Notes sur la télégraphie sans fil en Allemagne*.

composé du secondaire de ce même transformateur et de l'antenne proprement dite.

Chacun de ces circuits apporte dans l'ensemble les qualités qui lui sont propres ; ils se com-

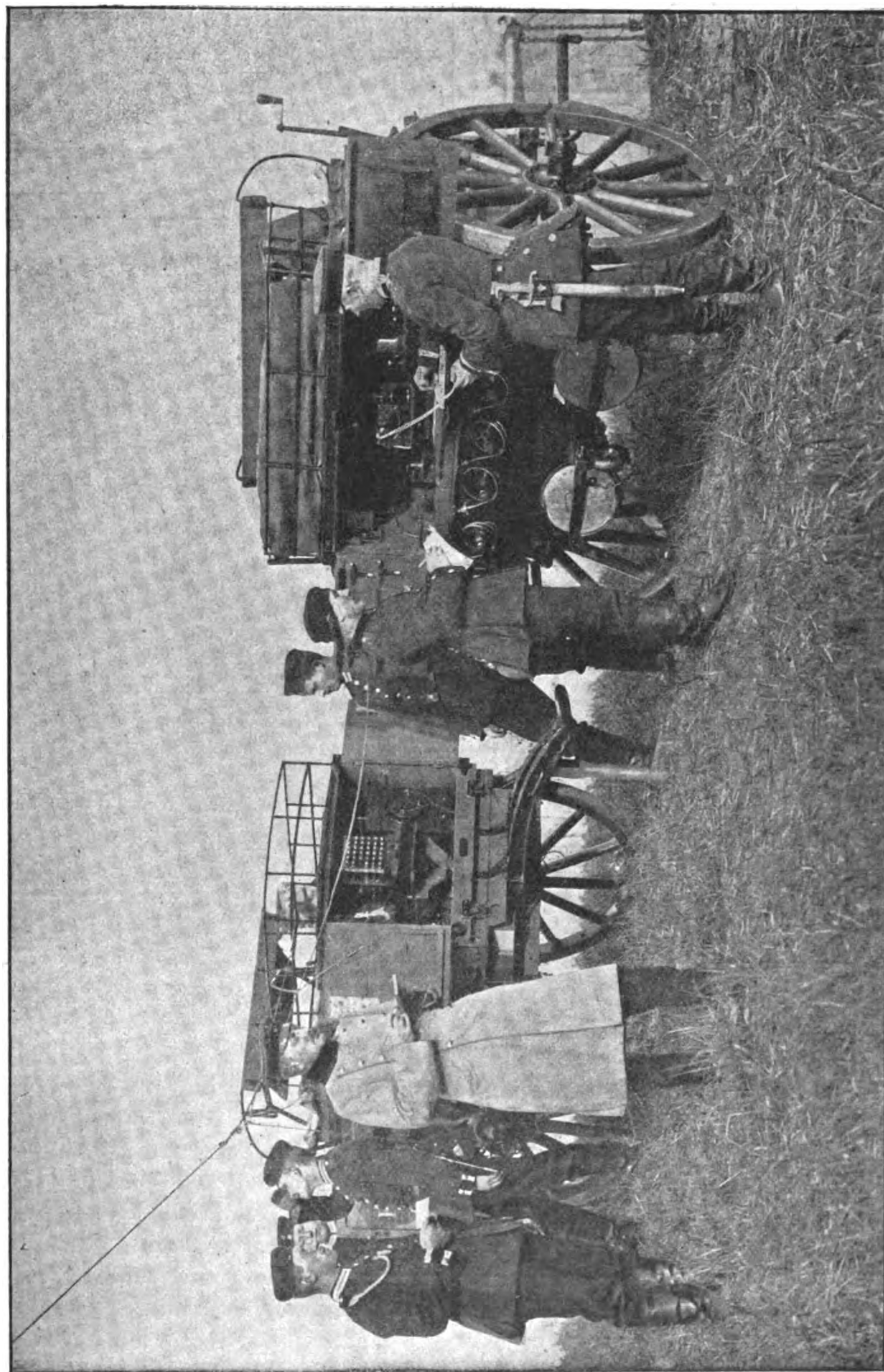


Fig. 2. — Poste prêt à fonctionner.

plètent l'un l'autre pour concourir au résultat cherché. Le circuit ouvert, seul, ne mettrait en jeu qu'une très petite quantité d'énergie électrique ; mais, en revanche, son pouvoir d'émission des ondes est maximum. Le circuit fermé, au contraire, recueille et met en jeu une très

grande quantité d'énergie qui dépend de la capacité des condensateurs ; mais il est impropre à rayonner ; ses vibrations propres ont un amortissement très faible. On conçoit donc que le transport par induction des vibrations du circuit fermé sur le circuit ouvert puisse produire de très bons résultats au point de vue de la disposition des transmissions, et au point de vue non moins important de l'accord des postes, transmetteur et récepteur. Si, en effet, on a la précaution de régler la longueur d'antenne de telle sorte que sa période propre soit en accord avec celle du circuit fermé, à chaque signal, l'antenne émettra de longues séries d'ondes, puissantes et de période déterminée, et c'est là une condition indispensable pour obtenir dans une cer-

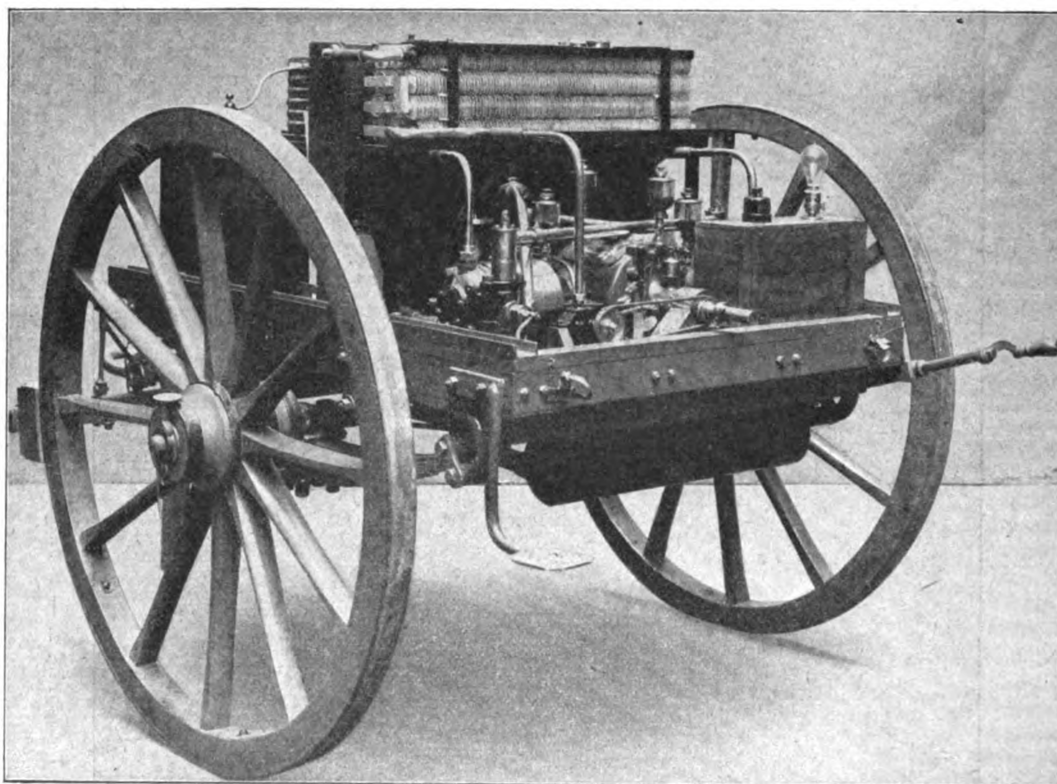


Fig. 3. — Arrière-train, vu de l'arrière.

taine mesure l'accord cherché, et l'accroissement des portées qui en est d'ailleurs une conséquence [1].

La même disposition, consistant dans l'accouplement par induction de deux circuits, l'un ouvert et l'autre fermé, est utilisée également au récepteur. L'antenne est parfaitement propre à la réception des ondes qui arrivent ; mais, suivant l'expression imagée de l'auteur, elle serait promptement saturée aux premières impulsions, si elle était employée seule ; tandis que par une liaison avec le réservoir que constitue le circuit fermé, l'antenne cède immédiatement à ce dernier l'énergie reçue et se trouve prête de nouveau pour recueillir les ondes successives.

La figure 1 représente schématiquement le montage d'un poste complet ainsi constitué. Les longueurs de fil *as* et *sb* sont déterminées de façon à représenter un quart ou un nombre impair de quarts de longueur d'onde du circuit fermé. L'état vibratoire du fil *ab* est tel qu'il se produit en *a* et *b* des ventres de tensions ; cette disposition symétrique montre que la mise à la terre n'est pas nécessaire, ce qui est un grand

[1] Le fait est généralement reconnu aujourd'hui, et ce système de transmission sur l'usage duquel le professeur Braun a fait des revendications de priorité, est employé actuellement dans la plupart des installations de télégraphie sans fil.

avantage pour des stations transportables ; en pratique, comme le transformateur doit être nécessairement en bas de l'antenne, on remplace d'ailleurs la branche *sb* par une plaque métallique isolée.

Après ces considérations générales l'auteur montre comment sont installées pratiquement, d'après ces principes, les stations mobiles de l'armée allemande. Les appareils constituant un poste complet sont répartis sur deux voitures réunies l'une à l'autre comme l'affût est relié à l'avant-train. Sur l'une des voitures sont logés

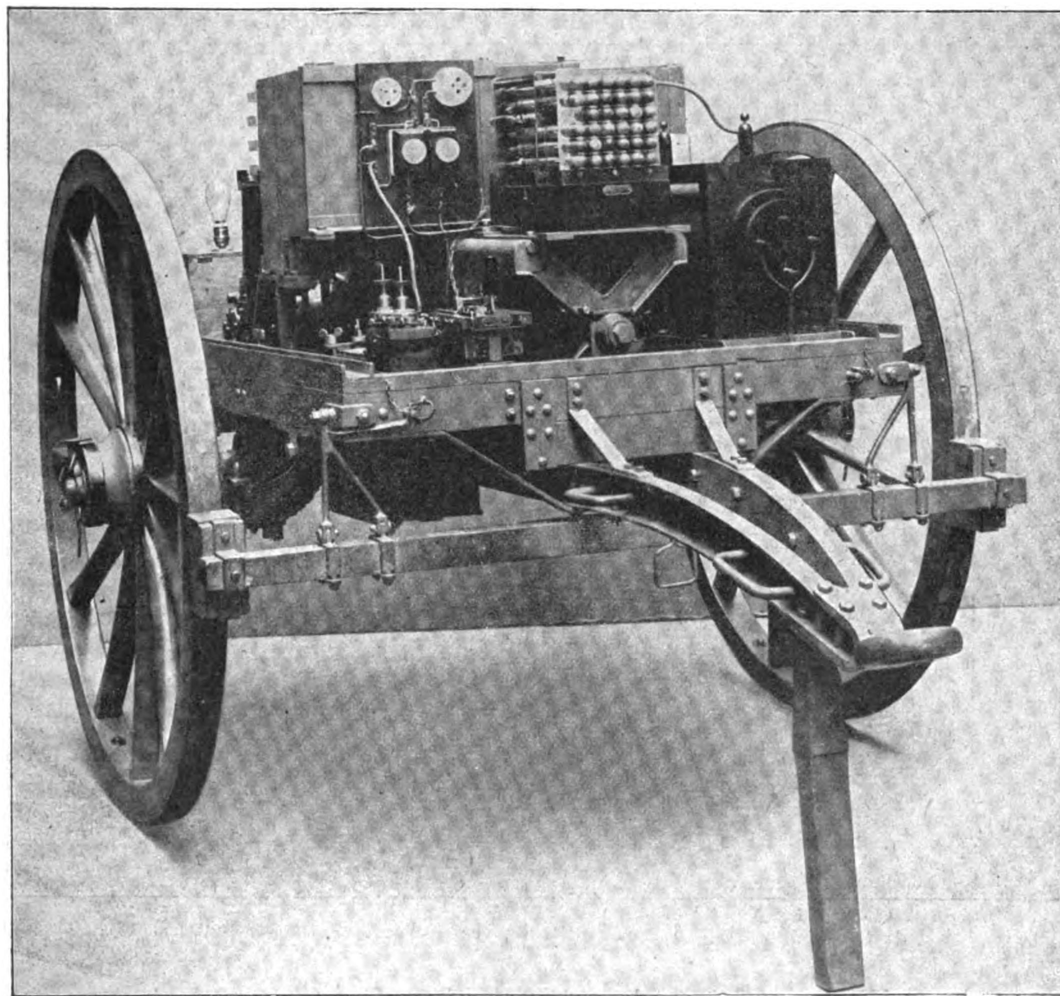


Fig. 4. — Arrière-train, vu de l'avant.

la source d'électricité et les appareils producteurs d'oscillations ; la seconde voiture contient les récepteurs.

La figure 2 montre les deux voitures séparées et les appareils prêts à servir.

Les figures 3 et 4 représentent respectivement les parties avant et arrière de l'arrière-train, sur lequel sont rassemblés les appareils générateurs du courant et des oscillations. La source électrique est une dynamo de 120 volts conduite par un moteur à benzine de 5 chevaux qui fait 800 tours par minute. La figure 3 montre ce moteur et, au-dessus, le réfrigérant adossé à une cloison transversale médiane. La caisse en bois située à droite contient un rhéostat. Le réservoir de benzine se trouve sur la partie arrière de la voiture.

Dans la figure 4, nous voyons la dynamo, à droite de laquelle est placée la bobine de 40 cm d'étincelle. Sur la cloison moyenne déjà men-

tionnée se trouve un petit tableau de distribution avec voltmètre et ampèremètre ; entre ce tableau et la bobine, au-dessus de la dynamo, sont les condensateurs du circuit vibratoire fermé : 40 bouteilles de Leyde, ayant chacune 30 cm de longueur et 2,5 cm de diamètre extérieur, sont divisées en 2 batteries, c_1 et c_2, intercalées dans le circuit fermé, comme la figure 1 l'indique schématiquement. La capacité invariable de la double batterie est de 0,01 microfarad. Un tel circuit permet d'obtenir à chaque étincelle élémentaire une succession de plusieurs centaines d'ondes simples très peu amorties.

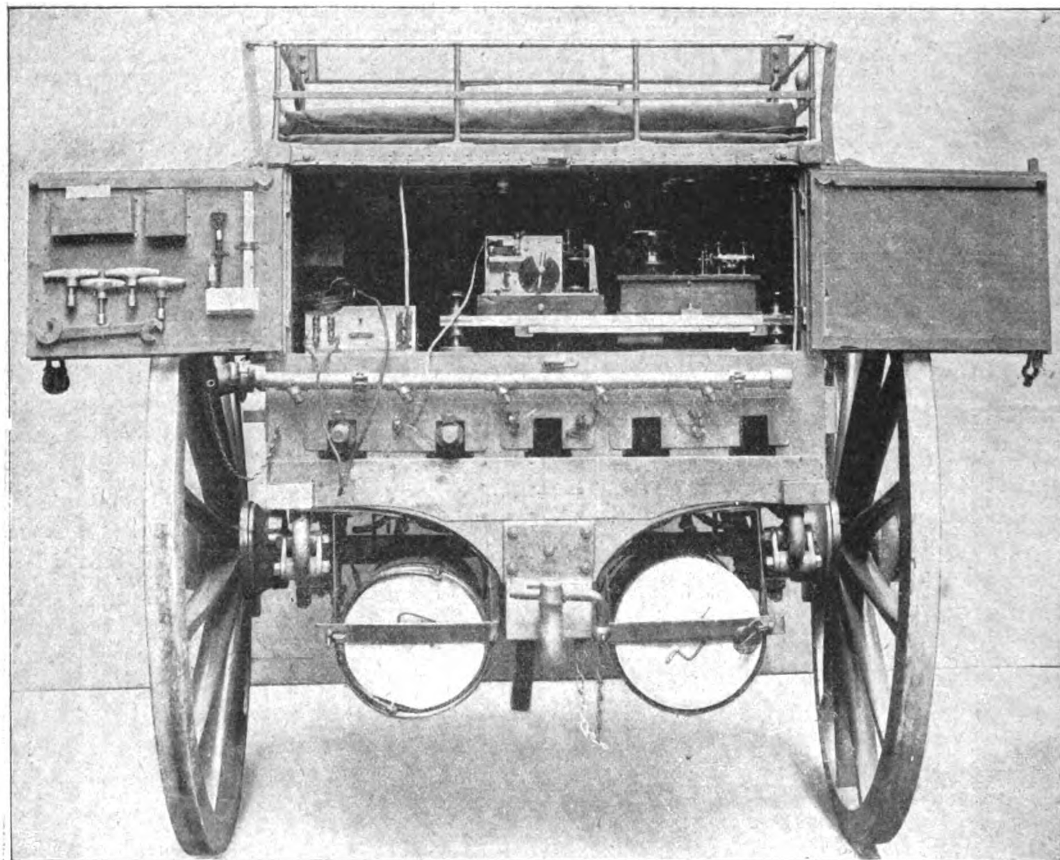


Fig. 5. — Avant-train, vue de l'arrière.

L'avant-train, qui est représenté dans la figure 5, porte les appareils récepteurs ordinaires : tube avec relais et inscripteur Morse. Sous la caisse de l'avant-train sont les bouteilles renfermant l'hydrogène nécessaire au gonflement du ballon ; les enveloppes, les cerfs-volants et le reste du matériel sont répartis sur les deux voitures.

Un soin tout particulier a été apporté aux différentes installations pour assurer une isolation aussi parfaite que possible, tant à la transmission qu'à la réception ; et la pratique a montré que, de ce côté également, on a obtenu une sécurité suffisante pour les plus mauvaises circonstances de temps.

Le personnel technique d'un poste complet se compose d'un officier, un sous-officier et cinq hommes.

Avec un peu de pratique et d'entraînement, un poste équipé comme il vient d'être dit, peut être mis en action en quelques minutes, et la communication assurée avec les stations correspondantes. Les résultats précédemment obtenus ont été à nouveau confirmés pendant les manœuvres dernières ; le service de renseignements fut régulièrement assuré par ce moyen

entre le commandement et les différents corps d'opérations, particulièrement avec les divisions de cavalerie envoyées en reconnaissance, à des distances se maintenant entre 40 et 50 km, et allant parfois au-dessus de 60 et même de 80 km.

Ces distances ne sont probablement pas les limites qu'on peut obtenir avec sécurité pour les communications à terre, et le bataillon des aérostiers allemands continue ses recherches en collaboration avec la société de télégraphie sans fil Braun, Siemens et Halske pour porter les appareils actuels à une perfection et à une puissance encore plus grandes, tout en conservant la simplicité et la sécurité, qualités indispensables plus que partout ailleurs dans la télégraphie militaire.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 20 Avril 1903.

Sur l'hystérésis magnétique aux fréquences élevées, par **Ch.-Eug. Guye** et **B. Herzfeld**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 957-760.

L'énergie consommée par hystérésis dans un cycle d'aimantation est-elle indépendante de la vitesse avec laquelle ce cycle est parcouru ? Les réponses données à cette question par les différents expérimentateurs sont des plus contradictoires ([1]).

Ces nombreuses divergences proviennent, en grande partie, de la difficulté d'éliminer totalement les courants de Foucault, et de la difficulté, plus grande encore, de calculer ou d'apprécier leur influence.

Les courants de Foucault sont, en effet, une double cause de perturbation : d'une part, ils tendent à affaiblir le champ magnétique à l'intérieur du fer, de sorte qu'il règne toujours une incertitude sur la valeur réelle de ce champ ; d'autre part, ils consomment une certaine énergie qu'il est souvent impossible de séparer de celle due à l'hytérésis seule.

Cette double perturbation étant fonction de la saturation, de la perméabilité, de la fréquence, ainsi que de la conductibilité et du diamètre du fil, on comprend aisément de quelles difficultés et de quelle incertitude un calcul de correction de ce genre peut être entaché.

Les auteurs se sont appliqués, dans leurs recherches à réduire autant que possible cette incertitude par l'emploi de fils de fer très fins. En outre, ils ont employé une méthode thermique, ne mesurant que l'énergie dissipée dans le fil ; il n'y avait donc pas de correction à effectuer pour la puissance consommée dans les enroulements magnétisants.

Le dispositif expérimental est le suivant :

Deux fils de fer identiques sont disposés symétriquement chacun suivant l'axe d'une longue bobine magnétisante ; ils forment les deux branches d'un bolomètre. Chacune des bobines magnétisantes porte deux enroulements parallèles, qui peuvent être couplés au moyen de commutateurs, de façon que leurs actions magnétisantes sur le fil puissent à volonté s'ajouter ou s'annuler. Les quatre enroulements sont placés en série et sont par conséquent toujours parcourus par le même courant. Ce courant provient d'un alternateur à haute fréquence fourni par la Compagnie de l'Industrie électrique.

L'expérience consiste à établir d'abord l'équilibre du pont, les champs magnétiques étant nuls à l'intérieur des bobines. Dans ces conditions la chaleur dégagée dans les enroulements inducteurs agit symétriquement sur les deux fils de fer, et le déplacement de l'équilibre du pont, qui en résulte, est nul ou extrêmement lent.

([1]) Tandis que Warburg et Hönig, Tanakadaté arrivent à la conclusion que l'énergie dissipée dans un cycle d'aimantation diminue si la fréquence augmente, Evershed et Vignoles, Borgmann, Gray et Maurain estiment, d'après leurs expériences, que cette énergie est indépendante de la rapidité avec laquelle le cycle est parcouru. Enfin, M. Wien, dans une étude minutieuse, conclut à l'augmentation, aux fréquences élevées, de l'énergie consommée par cycle, sous l'influence de l'hystérésis.

Mais si l'on renverse le sens du courant dans l'un des enroulements d'une des bobines, on crée dans cette bobine un champ magnétique, et le fil de fer placé dans l'axe de la bobine sera soumis à des aimantations alternatives, s'échauffera et prendra, grâce à la petitesse de son diamètre, presque instantanément une nouvelle température stationnaire. L'équilibre du pont est rompu et il est aisé de démontrer, pour de petites élévations de température, que la déviation du galvanomètre est alors rigoureusement proportionnelle à l'énergie transformée en chaleur dans le fer.

En maintenant constante l'intensité efficace du courant magnétisant et en faisant varier la fréquence par la vitesse de l'alternateur, on peut étudier d'une façon comparative et rapide l'influence de la fréquence sur l'énergie dissipée. La méthode présente en outre l'avantage suivant : la petitesse de la section du fil de fer, relativement à la section de la bobine, supprime pratiquement toute réaction du fil magnétisé sur le courant magnétisant.

Résultats. — Les expériences ont été effectuées sur quatre fils, dont les diamètres étaient respectivement :

(1) 0,0374 cm (2) 0,0235 cm (3) 0,0155 cm
(4) 0,0038 cm.

La périodicité du courant magnétisant a varié entre 100 et 1 200 périodes à la seconde. Enfin, les champs magnétisants (efficaces) étaient, suivant les séries d'expériences :

(56,6, 37,7, 18,9, 9,4 C. G. S.).

Si l'on suppose, d'une part, l'énergie dissipée par hystérésis indépendante de la vitesse avec laquelle le cycle est parcouru, et que l'on admette, d'autre part, que l'induction magnétique qui traverse la section du fer reste uniformément répartie et indépendante de la fréquence (fils fins et faibles saturations) on est conduit, pour la puissance consommée dans une série d'expériences, à une expression de la forme

$$y = An + Bn^2 \qquad (1)$$

n désignant la fréquence, A et B deux constantes ; le premier terme représentant la puissance absorbée par l'hystérésis, le second celle due aux courants de Foucault.

En comparant les résultats expérimentaux avec cette relation théorique, on a constaté les faits suivants :

Saturations élevées. — Si l'on déduit les valeurs des coefficient A et B de l'ensemble des expériences, on constate pour les fils de gros diamètre (1) et (2) que la courbe calculée ne se superpose pas à la courbe observée, mais que ses ordonnées sont plus élevées. La différence est encore plus grande si les valeurs de A et B sont déduites seulement des expériences à basse fréquence.

Il semble donc que, pour ces fils, les courants de Foucault, par leur réaction, diminuent la valeur de l'induction dans le fer, au fur et à mesure que la fréquence augmente, atténuant ainsi et la perte due à l'hystérésis et celle due aux courants parasites.

Pour le fil n° 3, les deux courbes se superposent exactement ; la puissance consommée est donc bien représentée par la formule (1) ; les courants de Foucault semblent donc suffisamment atténués pour ne pas changer sensiblement la valeur de l'induction magnétique aux diverses fréquences. Enfin, pour le fil n° 4 (le plus fin) l'expression de la puissance consommée se réduit à une droite ; les courants de Foucault semblent négligeables.

Faibles saturations. — Au fur et à mesure que la saturation diminue, la courbe se rapproche généralement d'une droite : c'est le cas du fil n° 4 pour toutes les inductions.

Conclusions. — En résumé l'ensemble de ces déterminations conduit à admettre que la puissance consommée par hystérésis est bien indépendante de la vitesse avec laquelle le cycle est parcouru. On peut le constater expérimentalement jusqu'aux environs de 1 200 périodes à la seconde, à la condition d'employer des fils de fer suffisamment fins.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV — Samedi 9 Mai 1903. — 10e Année. — N° 19

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

APPLICATIONS MÉCANIQUES DE L'ÉLECTRICITÉ [1]

Les applications de l'électricité se répandent de plus en plus principalement en Amérique et en Allemagne, dans les forges et aciéries, très étendues, et dont les machines disséminées se prêtent d'elles-mêmes à la commande par distribution d'électricité.

Aux aciéries d'Edgar Thomson, à Pittsburg, qui possèdent 9 hauts fourneaux et peuvent fabriquer 2 200 tonnes de rails par jour, les machines à vapeur ont été remplacées par des dynamos actionnées d'une station centrale. Les matières sont montées aux hauts fourneaux par des convéyeurs électriques, au taux de 2 000 tonnes par jour et par haut fourneau, avec un seul ouvrier ; la fonte des hauts fourneaux est déversée dans des wagonnets électriques, dont un train va, toutes les 20 minutes, transporter cette fonte aux mélangeurs, et ces mélangeurs sont, eux-mêmes, déversés électriquement dans d'autres wagonnets, qui en amènent la fonte aux Bessemer. Des convertisseurs, l'acier est déversé, par une grue de coulée, dans les lingotières sur wagonnets, d'où ils sont retirés, par des grues à lingots [2], suffisamment refroidis extérieurement pour être manipulés et transportés aux fours à recuire.

De ces fours ou puits à recuire, les lingots sont retirés et déposés, par quatre ponts roulants [3], sur des wagonnets, également électriques, qui les amènent et les basculent sur des avanceurs de laminoirs à 30 m des fours.

---

[1] Voir le précédent article dans *L'Éclairage Électrique*, 10 décembre 1902, t. XXXIII, p. 403.

[2] Exemples : les grues électriques à lingots de Shaw (*L'Éclairage Électrique*, 19 août 1899, p. 250). Tylor et Wellmann (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, avril 1902, p. 573 et janvier 1901, p. 151).

[3] Exemples : les ponts roulants des forges de Kladno (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, novembre 1902, p. 671) et ceux de Aiken, Morgan et Wellmann (*L'Éclairage Électrique* des 15 mai et 4 septembre 1897, t. XI, p. 347 et t. XII, p. 447-448).

Le lingot est d'abord dégrossi en une masse de 4,50 m de long sur 2,30 m de côté, coupée en trois blooms, transformés par laminage en barres de 27 mètres de long, que des avan-

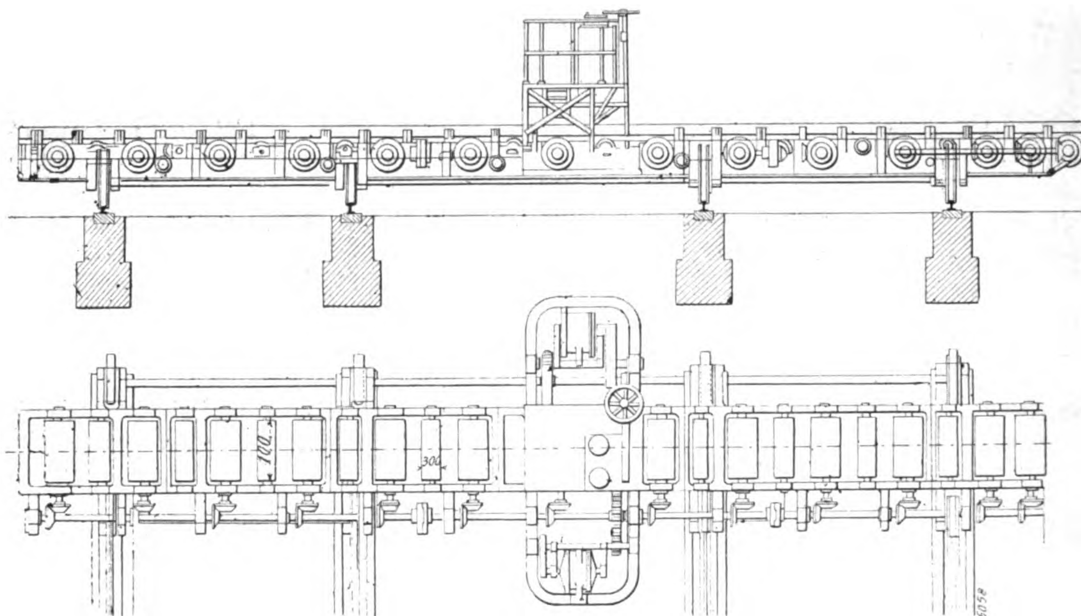


Fig. 1. — Transporteur du laminoir de Friedenshutte.

ceurs électriques amènent aux cisailles, qui les coupent en longueurs correspondant chacune à un rail. Les déchets de ces cisailles tombent dans un wagonnet électrique, qui les

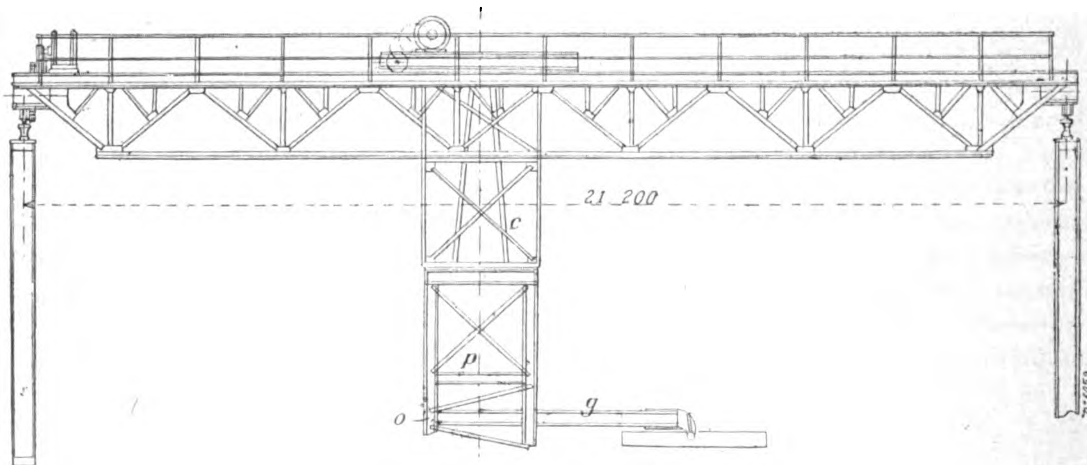


Fig. 2. — Pont roulant pour lingots de Friedenshutte.

amène à une grue électrique, laquelle les transporte sur des wagons pour l'extérieur; un gamin et son aide suffisent pour cette manœuvre, qui occupait autrefois 10 hommes.

Avant son laminage final en rails, le lingot est amené par un wagonnet à tracteur électrique, à un enfourneur qui, également commandé par des moteurs électriques, l'enfourne

dans un four à réchauffer et l'en retire, et l'ouvrier qui conduit cet enfourneur commande aussi les mouvements du wagonnet (1).

Le lingot retiré du four à réchauffer est amené par un wagonnet électrique aux avanceurs électriques du laminoir à rails, actionné entièrement par l'électricité, à l'exception des cylindres lamineurs mêmes. Le lingot, passé et repassé par des manœuvres électriques jusqu'à ce qu'il atteigne une longueur de 9 m, est transbordé automatiquement au laminoir suivant, qui l'allonge à 100 m, puis il passe au troisième laminage, qui le convertit définitivement en rail (2).

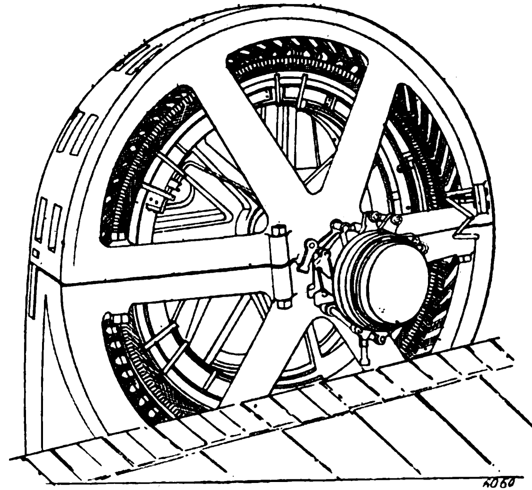


Fig. 3.

Le rail est ensuite coupé en longueurs de 9 m par des scies à chaud électriques, puis passé dans un courbeur qui le courbe de ce qu'il faut pour qu'il se redresse par son refroidissement sous l'action de la pesanteur ; de là ils passent, après refroidissement, en groupes de 4 ou 5, aux presses dresseuses, puis aux perceuses électriques de leurs trous d'éclisses, et, par un convéyeur électrique, au quai d'embarquement.

Toutes les opérations de cette fabrique, depuis la levée des matières aux hauts fourneaux jusqu'à la mise en quai des rails se succèdent avec précision et dans un ordre parfait, sans que l'ouvrier n'ait à toucher le métal, et l'emploi de l'électricité facilite singulièrement ces manœuvres, avec une économie de main d'œuvre et de temps des plus remarquables (3).

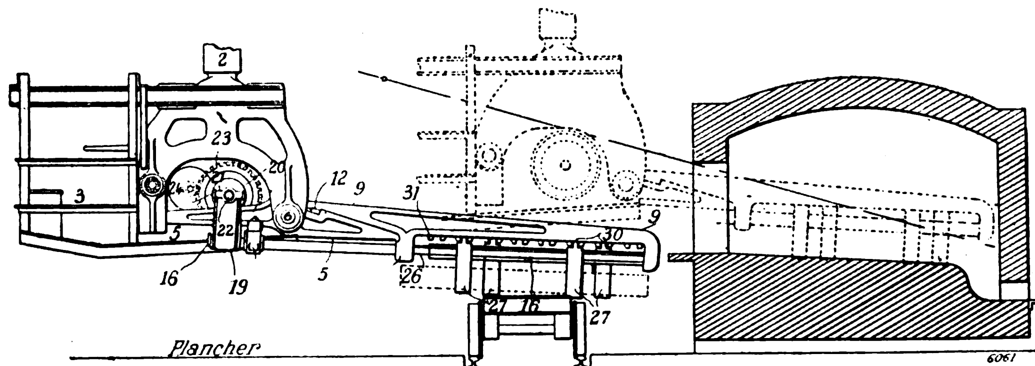


Fig. 4. — Enfourneur Taylor au travail.

Aux aciéries de *Parkgate*, près Sheffield, les six fours Martin, dont la façade a 46 m de long, sont desservis par un chargeur électrique Wellmann et un pont roulant électrique

(1) Exemples : les enfourneurs de Wellmann (*Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, décembre 1896, p. 1 667 et février 1900, p. 463 : *L'Éclairage Électrique*, mai 1897, t. XI, p. 349) et de Taragonet (*Bulletin de la Société d'encouragement*, avril 1902, p. 570).

(2) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, décembre 1896, p. 1671.

(3) *Engineering Magazine*, décembre 1902.

Craven de 5 tonnes. Les boîtes renfermant les minerais, de 1,80 m × 0,60 m × 0,45 m et d'une capacité d'environ 4,75 m³ sont amenées par des wagonnets au chargeur qui les enfourne et décharge, puis les retire ; l'emploi de cet enfourneur a permis d'augmenter le rendement des fours d'environ 11 p. 100.

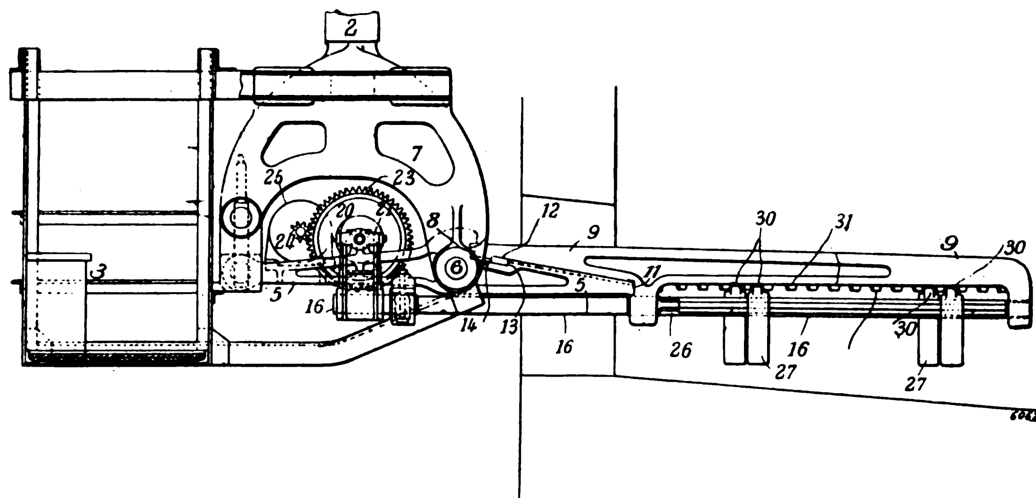


Fig. 5. — Enfourneur Taylor. Elévation.

Les cylindres des laminoirs sont commandés par des machines à vapeur, mais leur serrage l'est par des dynamos, ainsi que leurs rouleaux entraîneurs, les ripeurs, cisailles, scies. Les dynamos sont du type Westinghouse enfermées bien à l'abri des poussières.

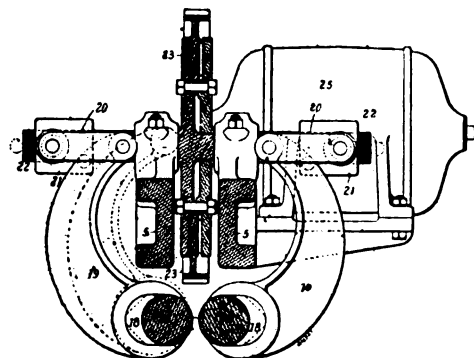


Fig. 6. — Enfourneur Taylor. Coupe transversale de la pince.

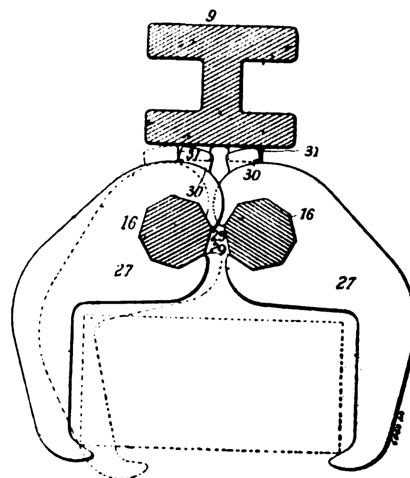


Fig. 7. — Enfourneur Taylor. Détail de la pince.

Les galets entraîneurs sont actionnés par 5 dynamos de 30 chevaux marchant à 600 tours, avec vitesse réduite à 80 tours par minute sur les galets ; le serrage du laminoir se fait par une dynamo de 15 chevaux, aussi à 600 tours, attaquant les vis de serrage par des trains de vis sans fin.

La scie à chaud pour billettes est commandée par une dynamo de 30 chevaux.

Le réglage des laminoirs, les ripeurs, les avanceurs, les cisailles et les scies sont commandées d'une plateforme qui en domine la vue et par un seul homme ; chaque moteur est commandé par une seule manette de distribution, qui permet d'en renverser la marche.

L'énergie électrique est fournie par une station centrale comprenant deux machines à vapeur Westinghouse verticales à simple effet compound, à deux cylindres de 400 et 685 × 400 de course, vitesse 250 tours, actionnant chacune une dynamo de 1 000 ampères × 250 volts ; un seul de ces groupes électrogènes suffit et marche pendant une semaine, l'autre restant au repos. Les câbles de distribution sont nus, en fils de 5 mm pour les cinq canalisations principales, et sur isolateurs à cloches. Courant continu à 250 volts.

Les transporteurs du laminoir dégrossisseur de *Friedenshutte* sont commandés électriquement, et le ripage se fait, au laminoir à poutrelles, par deux chariots (fig. 1) roulant sur des rails à droite et à gauche du laminoir et qui portent les galets avanceurs. Deux dynamos de 37 chevaux, à 725 tours commandent l'une la translation des chariots, l'autre la rotation des galets ; la manœuvre se fait d'une plateforme disposée entre les dynamos ; la longueur des chariots est de 15 m ; les rouleaux ont 500 mm × 1 m de long.

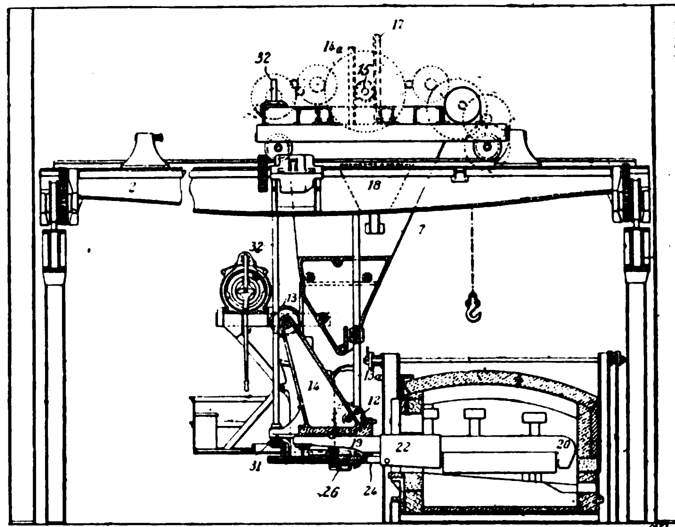


Fig. 8. — Enfourneur Taylor. Variante.

Le transport des lingots du laminoir dégrossisseur à celui des poutrelles se fait par le pont roulant figure 2, de 3000 kg, avec pince *g*, à serrage hydraulique, levée autour de *o*, et pivotant autour de l'axe *ab*; la pression hydraulique est fournie par une pompe électrique montée sur la plateforme *p* du mécanicien. La manipulation des lingots aux fours à réchauffer s'opère au moyen des grues décrites à la page 41 de notre numéro du 11 octobre 1901.

Les aciéries d'*Anvers*, à Hoboken, comprennent actuellement trois groupes électrogènes, dont deux composés chacun d'une machine à vapeur Westinghouse à triple expansion de 1 500 chevaux à 187 tours, actionnant directement un alternateur triphasé à tension de 2 200 volts, 900 kilowatts, fréquence 50 à champ tournant. Le troisième groupe comprend un alternateur Westinghouse triphasé de 400 kilowats sous 2 200 volts, actionné par courroies au moyen d'un moteur tandem compound de 800 chevaux.

Dans la station centrale se trouvent : une dynamo de 40 chevaux commandant un compresseur d'air ; une de 13 chevaux commandant les grilles automatiques Benny des chaudières ; deux de 20 chevaux pour les pompes à air des condenseurs ; trois moteurs pour la grue de 30 tonnes, à savoir : un de 40 chevaux pour la levée, un de 20 pour la translation du chariot et un de 30 pour le roulement de la grue ; deux de 21 chevaux pour le service des eaux et une de 65 chevaux pour le chemin de fer qui transporte les charbons amenés au quai de l'usine sur l'Escaut.

Il y a, dans l'usine, quatre sous-stations ; la première, près de la station centrale, fournit

l'électricité à l'éclairage par 200 lampes Körting à arc et 500 lampes à incandescence, ainsi qu'aux moteurs ci-dessus de la station centrale.

La station n° 2 alimente les petits moteurs à 200 volts dans l'aciérie et le modelage.

La station n° 3 alimente les petits moteurs de l'atelier de chaudronnerie et de l'atelier de réparations : une grue de 380 tonnes, une de 6, une de 12 allant jusqu'à l'Escaut, et une seconde de 30 tonnes. Les machines-outils sont commandées par un seul moteur de 60 chevaux ; celles de l'atelier de réparation sont commandées par trois moteurs de 50, 20 et 3 chevaux, avec deux grues roulantes de 5 et 20 tonnes.

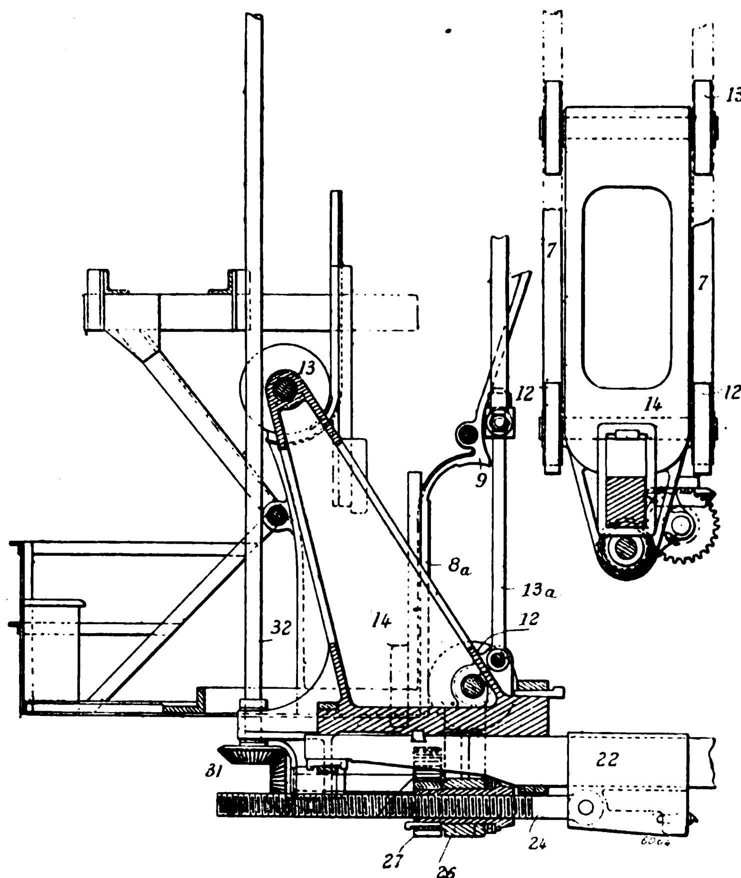


Fig. 9 et 10. — Enfourneur Taylor. Variante.

La fonderie comprend deux grues, l'une de 5 et l'autre de 20 tonnes, avec un moteur d'un cheval pour un petit ventilateur, un de 60 pour celui du cubilot et les broyeurs à sable, un de 20 chevaux pour la plate-forme mobile, et trois, de 3,5, 15 et 25 chevaux, pour le service de l'enfourneur Wellmann des fours Martin.

La quatrième station alimente un moteur de 65 chevaux pour la pompe du condenseur central, deux de 40 pour les tables des laminoirs, un de 20 pour l'atelier de réparations ; une grue de 6,5 tonnes, une de 5 et un pont roulant de 30 tonnes, deux dynamos de 60 chevaux commandant les cisailles.

La partie la plus intéressante de cette installation est la commande des laminoirs par dynamos asynchrones á 2 200 volts à vitesse variant de 22 à 25 p. 100 au-dessous de la vitesse normale en plein couple moteur.

L'une de ces dynamos, de 325 chevaux à 300 tours, commande par courroie et à 70 tours un train blooming avec volant de 30 tonnes ; ce train blooming comprend deux laminoirs à cylindres de 600 mm de diamètre ; l'un réduit des lingots de 400 kg de 6 450 à 2 100 mm² de section, l'autre réduit des lingots de 205 kg de 4 650 à 2 100 mm².

Les laminoirs finisseurs correspondants à ces dégrossisseurs sont chacun à cinq paires de cages et à volant de 12 tonnes et commandés directement : l'un, celui de 350 mm (fig. 3) par un moteur de 325 chevaux à 2 150 volts et de fréquence 6 000, et l'autre, celui de 260, par un moteur de 325 chevaux fréquence 6 000 ; le premier de ces moteurs absorbe de 90 à 100 ampères et le second, de 60 à 80 ; la dynamo du dégrossisseur en absorbe de 35 à 45 en marche continue.

Les cabestans électriques sont aussi appelés à rendre de grands services dans les forges pour les manutentions; les aciéries d'*Ougré*, en Belgique, en ont six, avec un pont roulant de 30 tonnes. L'on y emploie aussi fréquemment des locomotives électriques, comme celles de l'usine Benrather, pour voie de 1,435 m, à deux dynamos de 23 chevaux, empattement 1,800 m, poids 10 tonnes, effort de traction 1 200 kg, vitesse 10 à 12 km.

Les *enfourneurs électriques* sont, comme nous l'avons vu, déjà très répandus et le plus fréquemment employé est celui de Wellmann, bien connu de nos lecteurs, et sur lequel

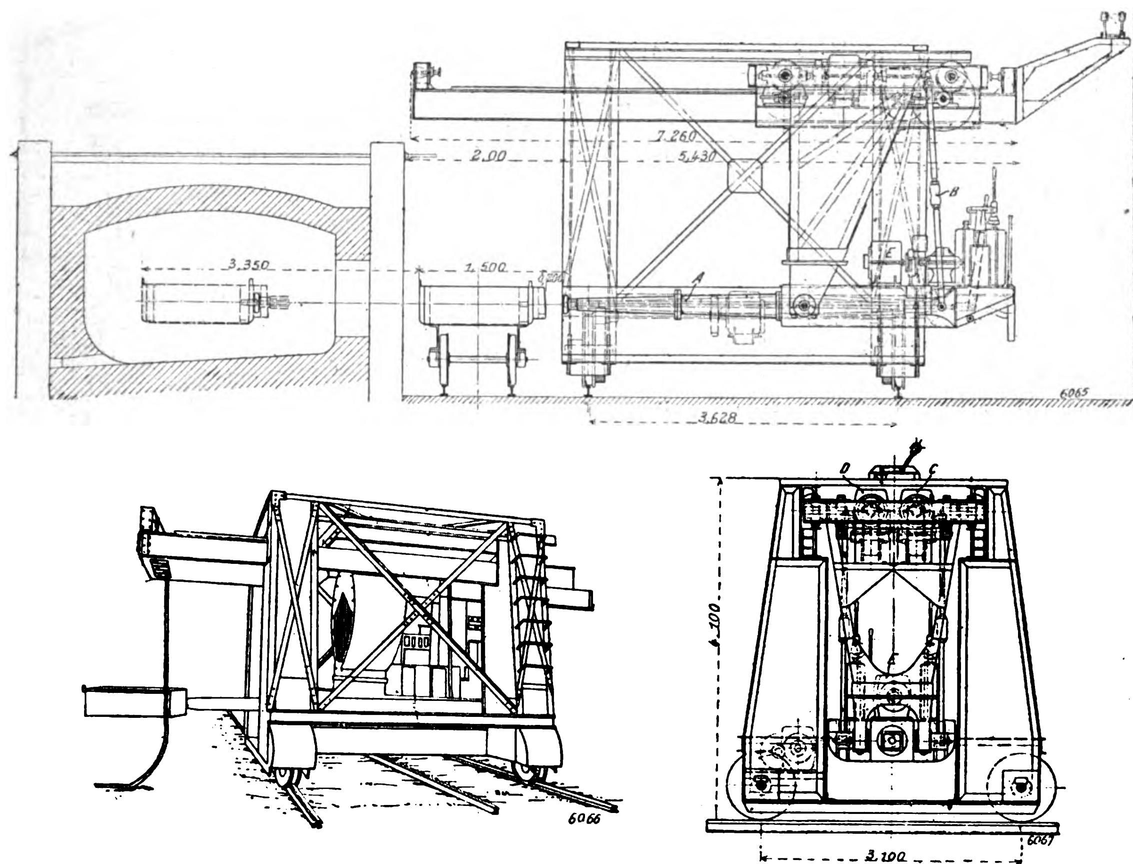


Fig. 11 à 13. — Enfourneur Benrather.

nous n'avons pas à revenir; je signalerai en outre, aux Etats-Unis celui de Taylor, dont les figures 4 à 7, représentent l'un des derniers types. L'ensemble de l'appareil est suspendu en deux au chariot d'un pont roulant par une crémaillère qui permet de le lever et de le descendre. Le bras porte-pinces 9 est serré par la cale 12 sur les talons 11 et 8 du levier 5, pivoté en 6, et commandé par le pont roulant, qui peut ainsi le faire passer de la position en traits pleins, figure 4, à celle en traits pointillés.

Les tenailles 17 sont (fig. 7) enfilées sur les carrelets des tiges 16 et pourvues de talons 30, qui permettent de les localiser en longueur entre les talons 31 (fig. 5) de 9. La rotation des tiges 16 et des tenailles est commandée, de la dynamo 25, par la transmission 24, 23, les écrous 20 (fig. 6) vissés sur l'arbre 22 de 23 et reliés par les menottes 20 aux leviers 19. Ces tenailles peuvent se remplacer facilement, et le réglage de leur écartement permet de manipuler des masses de dimensions très variées. Toutes les manœuvres sont commandées

de la plateforme 3 (fig. 4). Cet appareil est construit par la Morgan Engineering C°, d'Alliance, Ohio.

Dans le type figures 8 à 10, la tenaille 20-22 serrée par la rotation du pignon écrou 26 sur 24, a son serrage commandé, de la dynamo de son pont roulant 2, par la transmission 31-32. La levée de cette tenaille, portée sur les roues 12 et 13 du truck 14 se fait par le

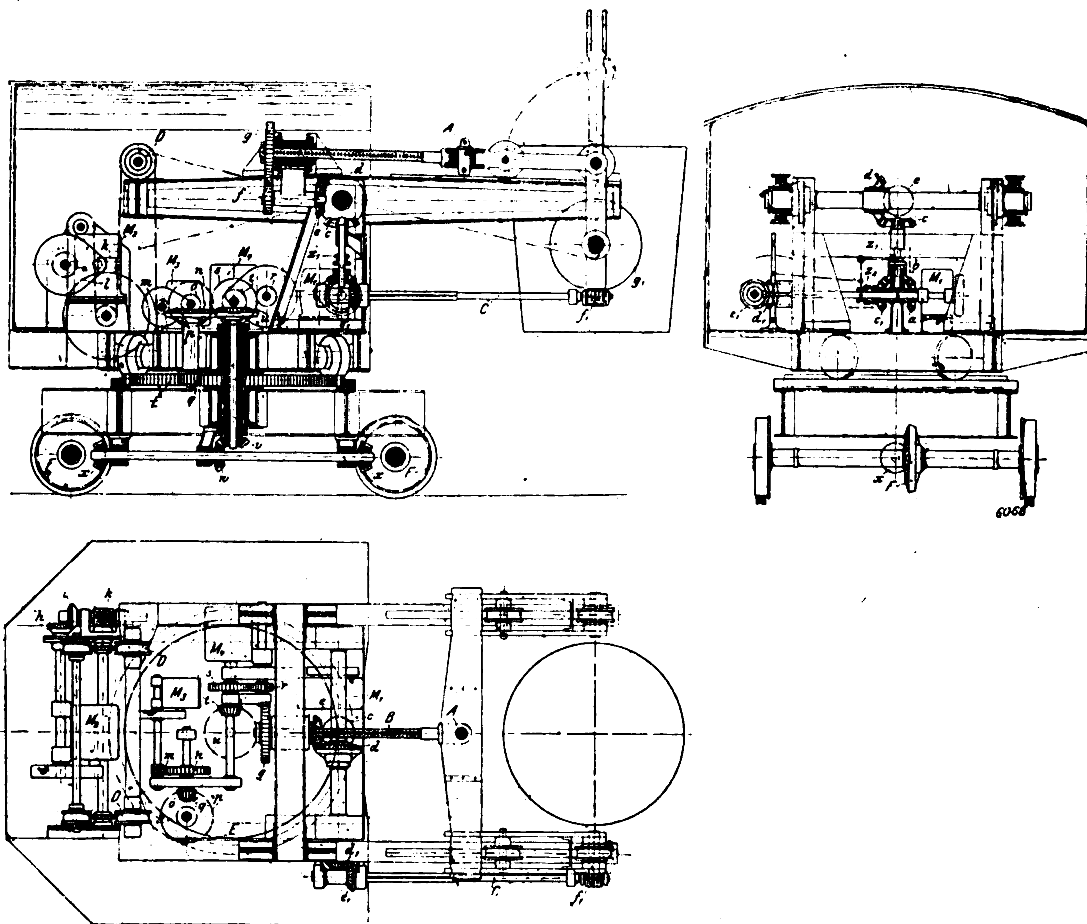


Fig. 14 à 16. — Poche de coulée de Snfensbrenner.

pignon 15 de la dynamo du pont, qui tourne en prise avec deux crémaillères dont l'une, 14_a-13_a, est solidaire du truck 14 et l'autre 17, à contrepoids 18, équilibre le poids de 14.

L'enfourneur de l'atelier Benrather représenté par les figures 11 à 13 est commandé par trois dynamos de 12 chevaux à 500 volts et 875 tours : C pour la bascule du bras A au moyen du renvoi B; D pour la translation de l'appareil sur ses poutres supérieures; E pour le pivotement de la caisse autour de l'axe longitudinal de A ; une quatrième dynamo commande le roulement de l'appareil sur sa voie (1).

La *poche de coulée* de Snfensbrenner, à Dusseldorf Oberkassel, a ses mouvements commandés (fig. 14) par quatre dynamos. M' actionne par *d'e'*C*f'g'* le pivotement de la poche, avec changement de marche *abc'*, embrayable en z_2, et aussi, par l'embrayage *z'* et le train

(1) *V. Deutscher Ingenieur*, 27 décembre 1902, p. 1975.

*cdefg*A, la translation de la poche sur son cadre ; le pivotement de ce cadre, équilibré par des contrepoids, est commandé, de la dynamo M_2, par le train *hikl*DD ; la dynamo M_3 commande le pivotement autour de l'axe vertical *v* par le train *mnopq*, en prise avec la couronne fixe E ; la dynamo M_4 commande le roulement sur la voie par le train *rstuvwx*F.

(*A suivre.*)

G. Richard.

DE LA LÉGISLATION DES CHUTES D'EAU (1)

II. — Modifications proposées au régime légal actuel

L'insuffisance de notre législation ne tarda pas à être mise en relief, mais ce ne fut qu'en 1888, lors de la discussion du projet de loi sur le régime des eaux, que le rapporteur, M. Mannoury, proposa une innovation substantielle qui avait pour objet d'attribuer aux riverains situés en face l'un de l'autre la propriété de la chute avec faculté de sortir de l'indivision par la voie de la licitation. Quand cette loi revint en discussion en 1897, la question avait pris une plus grande ampleur, par suite de l'invention des transports d'énergie entrés définitivement dans le domaine de l'utilisation pratique ; aussi fut-elle assez sérieusement discutée. Chacun sait qu'en disjoignant les titres v et vi, dans un but de célérité mal entendue, les législateurs de 1897 laissèrent la question pendante et n'aboutirent, en votant la loi du 8 avril 1898, qu'à créer un instrument législatif imparfait.

Il faut toutefois noter au passage à quel mobile obéirent les législateurs de 1898 en restant muets sur un point aussi important : ce fut, disait alors le rapporteur, M. Delbet, afin « de prévenir les empiétements de l'Administration sur les biens qui sont susceptibles de propriété privée et l'empêcher d'en disposer arbitrairement ». Cette réflexien méritait d'être soulignée, car elle s'accorde mal avec les théories qui ont servi d'assises aux projets de loi qui virent le jour moins de deux ans après la promulgation de la loi du 8 avril 1898.

Quels étaient donc les motifs qui nécessitaient si impérieusement le remaniement de textes législatifs nés d'hier et qui n'avaient encore, semble-t-il, rien pu donner au point de vue expérimental ? Les raisons invoquées étaient-elles sérieuses et ne pouvait-on avec un peu d'ingéniosité vivre et s'accommoder avec les lois existantes ?

Les protagonistes de l'organisation d'un système législatif franchement remis à neuf affirmaient qu'il était impossible de développer largement l'utilisation des chutes d'eau et de répondre ainsi à la satisfaction d'intérêts généraux devenus de jour en jour plus impérieux avec un appareil législatif suranné et insuffisant. A une situation nouvelle devaient correspondre des moyens nouveaux : il fallait, disait-on, forger pour l'industrie une arme plus parfaite qui lui permettrait de se défendre contre les adversaires qui la paralysaient et qui assurerait du même coup le développement du bien-être de tous. Or, une série d'obstacles s'opposaient à l'aménagement en grand de la force hydraulique des cours d'eau non navigables : l'inertie ou la mauvaise volonté des riverains, les combinaisons des spéculateurs qui, par essence, ne faisaient germer que l'obstruction, l'inaptitude ou le manque de puissance financière des propriétaires de chute qui ne pouvaient donner aux cours d'eau le

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 160.

***

développement et l'appropriation industriels qu'ils comportaient. Pour briser toutes ces entraves, un seul moyen se présentait, c'était l'expropriation ; mais, comme cette solution impliquait la notion de l'intérêt public, elle restait inopérante quand il s'agissait d'intérêts privés. De là à l'idée de concession il n'y avait qu'un pas ; ce pas fut franchi par le dépôt du projet Jouart le 3 mars 1898, déposé à nouveau le 13 juillet suivant et renvoyé à la Commission parlementaire des distributions d'énergie. Cette Commission déposa à son tour le 23 mars 1900, un contre-projet rapporté par M. Guillain, qui fut suivi du projet de loi sur les « Usines hydrauliques publiques », déposé par le Gouvernement le 6 juillet 1900.

Principe de la concession. — Ces trois projets, dont nous examinerons plus loin la physionomie particulière, instituaient un principe nouveau qui servait de point d'appui à leur système, c'était le droit pour l'Etat de concéder la force hydraulique.

Si personne ne conteste à l'État le droit d'exproprier pour cause d'utilité publique, et moyennant indemnité, le lit, les berges, l'eau et la chute, en un mot tous les droits réels qui sont liés au cours d'eau, lorsqu'il s'agit d'un cours d'eau quelconque dont l'énergie doit être utilisée par un service public, il en va autrement de la thèse qui aurait pour objectif l'assimilation, sans distinction, de tous les cours d'eau non navigables pour les vouer au régime uniforme d'une concession faite par l'Etat. Cette théorie conduirait pratiquement à une impossibilité à cause du point de vue budgétaire ou masquerait une confiscation. En effet, qui dit concession dit cession ; or, cette notion de la cession d'un droit par l'Etat vient se heurter invinciblemeet contre cette autre notion, celle de la préexistence d'un droit adverse positif et précis qui lui fait échec. Cette conception d'un droit régalien jure avec les principes démocratiques qui nous régissent depuis un siècle : c'est un renouveau monarchique qui évoque les spoliations d'une époque disparue !

En effet, l'art. 644 du Code Civil et la loi de 1898 attribuent-ils oui ou non aux riverains un droit d'usage sur l'eau, et par voie de conséquence sur la chute formée par les cours d'eau non navigables ? Ce droit n'est-il pas un droit réel qui n'a d'autres limites que le droit parallèle des autres riverains ? Ce droit est-il susceptible de faire l'objet d'une cession ? Si le concours de ces diverses circonstances se rencontre dans le droit qu'ont institué les législateurs de 1804 et confirmé ceux de 1898 (et nous croyons pour notre part que cela n'est pas douteux), les riverains sont donc en possession d'un droit qu'on ne peut leur enlever que par voie d'expropriation dans les conditions de la loi de 1841. La main-mise de l'Etat — *Jure principis* — sur tous les cours d'eau non navigables et la concession qui en serait faite par lui en vertu de cette prétendue vocation à la propriété de la chute, revêtirait donc le caractère d'une véritable confiscation, si la notion exceptionnelle de l'intérêt public n'intervenait pour l'excuser et le justifier.

Nous ne dissimulerons pas que cette thèse a été sérieusement contestée et des objections, peut-être un peu subtiles, ont été formulées dans une dissertation très savante par MM. Ch. Massigli et R. Saleilles, tous deux professeurs à la Faculté de Droit de Paris. Dans cette argumentation que nous ne pouvons malheureusement pas reproduire ici in-extenso [1] les auteurs de cette étude arrivent à cette conclusion :

« Il y a donc une force motrice d'utilisation individuelle qui correspond au courant pris dans son état actuel, par rapport à chaque propriété riveraine, puis une force motrice d'utilisation qui correspond à la force totale dérivant de la déclivité du sol prise sur une longueur déterminée : c'est ce que l'on appelait jadis le droit à la pente et que l'on nomme plus particulièrement aujourd'hui le droit aux chutes. La première rentre dans le droit

[1] *Bulletin de la Société d'Etudes Législatives*, 1902, n° 3, p. 201.

d'usage individuel de l'art. 644, la seconde, au contraire, fait partie du droit d'usage collectif, qui appartient à la collectivité. »

Nous avouons ne pas nous rallier à cette doctrine, et les idées des rédacteurs du Code Civil nous paraissent avoir été plus simplistes ; ils ont entendu accorder un droit d'usage sans restriction, ni distinction, et en admettant la faculté d'une cession de ce droit, la jurisprudence a admis, par là-même, la concentration des droits des usagers concessionnaires sur la totalité de la chose faisant l'objet de l'usage, c'est-à-dire sur l'eau et sa chute. Cette théorie a le mérite de la simplicité ; à ce seul titre, elle était digne de rencontrer beaucoup d'adhésions.

La concession, a-t-on dit, est un contrat par lequel « l'Etat donne quelque chose dont il a le droit de disposer ». Or il n'est rien moins que certain que l'Etat, s'il intervient jamais comme pouvoir concédant toutes les chutes d'eau du territoire, agisse comme quelqu'un qui dispose d'une chose sienne. La théorie de la classification des eaux non classées sous l'étiquelle de *choses communes sui generis*, et par suite susceptibles d'être appréhendées par l'Etat, nous paraît des plus fragiles ! Elle nous semble bien difficile à maintenir et à opposer à des titres tels que ceux que les usagers tirent de l'art. 544 et de la loi de 1898, dont la réalité et l'ampleur seront, quoi qu'on fasse, toujours des plus sérieuses.

Si, en effet, ainsi que l'a fort bien dit M. Michoud, professeur à la Faculté de Droit de Grenoble, la loi de 1898 a donné à l'Administration un pouvoir de police et de contrôle sur les eaux non domaniales, c'est qu'évidemment le législateur de 1898 ne reconnaissait pas à l'Etat un droit de propriété sur l'eau et sa chute, sans cela cette disposition eut été inutile ; quand, par suite, l'Administration réglemente ou autorise un usager à faire tel ou tel travail dans telle ou telle condition déterminée, c'est dans le but de sauvegarder des intérêts généraux ou collectifs : dans cette fonction, l'Etat n'exerce qu'une mission de police et « *ne joue en aucune façon le rôle d'un propriétaire disposant de son bien* (1) ».

Aussi a-t-on cherché à asseoir le principe de la concession sur les bases plus concrètes que ce droit idéal, fruit de discussions théoriques sans issue.

Le projet de concession de la force hydraulique d'après M. Tavernier, qui a tant contribué par ses travaux à l'avancement de la question des chutes d'eau (2), offre la plus grande analogie avec la situation faite au concessionnaire de mines par la loi de 1810 ; pourquoi, par suite, n'appliquerait-on pas aux chutes d'eau un régime semblable ou voisin de celui qui règle l'état du concessionnaire d'une mine de houille, par exemple ?

Il est bien difficile, avec la meilleure bonne volonté possible, d'assouplir nos idées au point de nous faire accepter que nous nous trouvons en présence d'une situation adéquate dans les deux cas : « le filon de la mine et la masse fluide du cours d'eau ont ce caractère commun qu'ils constituent l'un et l'autre une richesse nationale et que tous deux traversent des terrains appartenant à divers propriétaires et produisent sous les deux noms — houille noire et houille blanche — la chaleur, la lumière, l'énergie, etc..., mais que de différences qui expliquent que la concession est possible dans les mines et impraticable en dehors d'elles ! (3) »

En effet, autant l'intervention de l'Etat peut se justifier pour les mines par suite de l'incertitude des gisements, des dangers de l'exploitation et aussi par ce fait qu'en concé-

(1) *Bulletin de la Société d'Etudes Législatives*, 1902. n° 1.

(2) *Les forces hydrauliques des Alpes*, par René Tavernier, ingénieur des Ponts et Chaussées.

(3) Société d'Études Économiques de la Loire. Conférence de Saint-Etienne, discours de M. Bougault, avocat à la Cour d'appel.

dant une mine, on concède quelque chose de fini, de limité, car un filon, quelle que soit son importance, est forcément appelé à s'épuiser dans un temps donné, autant une concession faite par l'Etat en matière de chute d'eau, écarte toute notion de similitude à ces divers points de vue; en effet, le parcours de la masse liquide d'un cours d'eau est connu et limité, son utilisation est indéfinie, sans péril pour l'exploitant et enfin, la valeur de la chute est étroitement subordonnée à l'exécution de certains travaux sans lesquels elle n'a aucune consistance; de plus (et ce point est important), elle implique l'existence d'*usines d'emploi* qui sont son but et sa raison d'être.

Il n'est donc pas rationnel de vouloir justifier un système avec les éléments fournis par une organisation qui n'émane pas du même esprit au point de vue historique, qui ne repose pas sur les mêmes bases, et qui, par son caractère intime, est assimilable à tant d'égards à la propriété de droit commun. Il y a, en effet, une sorte d'illogisme à vouloir se créer un titre et fonder un droit à l'aide d'une législation qui a toutes les marques de la *propriété perpétuelle* et à arriver, par une déformation insensible, à donner à cette expression une signification toute différente quand on la transporte pour l'appliquer aux concessions de l'énergie hydraulique qui implique avant tout l'*idée de précarité*.

Une autre raison qui pour M. Tavernier est décisive, c'est que la forme de la concession est la seule qui permette de réaliser cet idéal de l'attribution de la concession à la personne la mieux qualifiée pour en assurer l'aménagement le plus rationnel et le plus profitable à la masse des intérêts généraux.

Comme le dit fort bien l'éminent ingénieur, le concessionnaire choisi par l'Etat ne pourra être « n'importe qui »; peut-être le deviendra-t-il, mais il y a de grandes chances que l'Administration en dernière analyse décerne la palme « au meilleur ». Sans méconnaître la compétence et la bonne foi de l'Administration, il est cependant permis de craindre qu'il ne se glisse au moment de la distribution des récompenses une certaine part d'arbitraire, disons de bienveillance administrative (le fait est humain et malheureusement pas nouveau); or, les industriels ont peur de cette « cote d'amour » et il faut avouer que leurs craintes ne sont pas trop chimériques. Aussi sommes-nous assez sceptiques sur la réalisation de cette théorie sereine de la chute d'eau « au meilleur » que seule l'Administration doit nécessairement pouvoir appliquer ! Quel est donc le meilleur? Pour les socialistes, en matière de mines, la seule, la vraie formule, c'est « la mine aux mineurs », c'est-à-dire pour eux évidemment « au meilleur » ! On peut discuter longuement sur cette abstraction; aussi, préférons-nous pour notre part cette conception du meilleur que M. Jean Neyret définissait d'une façon si ingénieuse en ces termes [1].

« On a peur que ce ne soit pas « le meilleur » qui exploite, suivant l'expression de M. Tavernier.

« L'Etat est-il capable de trouver le meilleur, et ce meilleur, à ses yeux, ne serait-il pas le plus habile, le mieux recommandé? Ne sera-t-il pas souvent l'homme d'affaires qui anémie, avant qu'elle soit née, l'œuvre qui devrait être féconde?

« Ne sont-ils pas les meilleurs, ceux qui ont créé et rénové tant d'industries, qui ont échoué quelquefois dans l'application industrielle de leurs inventions, mais qui, jamais découragés, recommencent le lendemain?

« Et si une chute d'eau est mal utilisée, si son exploitant n'est pas à la hauteur de la situation, il est soumis malgré lui à la grande loi industrielle, il succombera et un autre reprendra l'œuvre, l'améliorera, y consacrera de nouveaux efforts et de nouveaux capitaux

[1] *Bulletin de la Société d'Études Économiques de la Loire*, février 1902.

et ce sera toujours, à la fin, le meilleur qui restera les armes à la main, maître du champ de bataille, dans cette lutte incessante qu'est l'industrie.

« Le « meilleur » est donc celui qui reste debout, consacré par la lutte et non celui qui aura été désigné administrativement. »

M. le député Guillain, qui rapporta le projet de la Commission parlementaire, a pris également pour base le système de la concession en matière de mines pour justifier le principe du pouvoir concédant qu'il attribue à l'Etat. Toutefois les idées de M. Guillain, bien moins rigoureuses du reste que celles du Gouvernement, se sont encore modifiées dans un sens plus libéral au contact des intéressés, ainsi qu'il l'a reconnu lui-même dans le discours qu'il a prononcé au Congrès de la Houille Blanche. Le système d'une concession modelée sur celui des mines subsiste toujours, mais avec des tempéraments qui en modifient l'esprit et qui se séparent franchement du système de la concession, tel que le conçoit le projet du Gouvernement qui, lui, s'appuie sur le régime des *concessions en matière de travaux publics*. Ici le point de vue est tout différent : le caractère de la domanialité qui est attaché à la concession rend ce système à bon droit suspect aux industriels en le dotant, par une logique nécessaire, de toutes les infirmités, telles que la précarité, l'insécurité et l'arbitraire, qui atrophient les concessions des biens du domaine public.

On a cherché à justifier le droit de l'Etat à concéder les chutes d'eau à l'aide d'un autre argument. L'énergie des eaux est une richesse nouvelle, une valeur créée, a-t-on dit; si on la laissait aux riverains on leur constituerait « une propriété née du droit positif, un don par l'Etat »; on leur ferait un cadeau véritablement excessif. Sans reprendre la discussion relative à la question de savoir si la pente de l'eau, chose commune, n'appartenant à personne, peut être appréhendée par l'Etat, bornons-nous à constater que l'Etat ne peut instituer la propriété même artificiellement, il ne peut que l'organiser.

Enfin, il est un motif qui se retrouve attaché à tous les systèmes et qui, pour les promoteurs de l'idée de concession est décisif : nous avons nommé *l'intérêt public*. Il est impossible, dit-on, de laisser inerte la richesse de l'énergie de l'eau ; c'est un bien qui doit être mis en valeur, l'intérêt général exige un aménagement rationnel des chutes d'eau qui ne peut être obtenu qu'en les domanialisant, qu'en les nationalisant, car l'initiative privée n'a ni la puissance, ni souvent la faculté, à cause des obstacles variés qu'elle rencontre sur sa route, de faire de cette source immense de richesse, l'eau, l'outil économique puissant qu'il doit être.

Et puis, ajoute-t-on, un autre péril est possible, en sens inverse, c'est la constitution par des particuliers d'une coalition, d'un trust de l'énergie, pour nous servir de ce mot dont on use trop facilement peut-être en ce moment. A ce danger-là, il faut parer aussi, et pour y arriver il faut donner à l'Etat le monopole de la concession de l'énergie hydraulique de tous les cours d'eau non navigables du pays tout entier !

Cette double considération a-t-elle véritablement la portée qu'on lui donne et justifie-t-elle la « formidable expropriation générale » qu'on prépare ? Nous ne le croyons pas et la preuve en est que, malgré toutes les entraves et avec le modeste et insuffisant appareil législatif actuel, « l'industrie privée arrivait, en dix ans, à créer 230 000 chevaux sur les cours d'eau non navigables, ni flottables, alors que l'Etat sur l'immense domaine des rivières navigables et flottables, n'arrivait, lui, à ne laisser créer que 20 000 chevaux [1].

---

[1] Rapport sur le Congrès de la Houille Blanche : M. le Comte d'Agoult. p. 23. Rapport de M. Tavernier : Législation des chutes d'eau.

Ces chiffres ont leur éloquence et démontrent catégoriquement qu'il faut chercher ailleurs la cause de ce prétendu non-développement de notre puissance hydro-électrique. Si l'aménagement des chutes d'eau n'a pas pris en France l'extension que l'on désire, c'est plutôt à une cause économique et d'ordre général qu'il faut l'attribuer qu'à des causes particulières, telles que la spéculation des barreurs ou la mauvaise volonté des riverains; ces motifs sont tout à fait secondaires et ne sauraient conserver leur valeur en présence de l'activité des industriels et du simple jeu de la loi inéluctable de l'offre et de la demande. Si l'industrie n'a pas plus d'entrain à organiser la force hydraulique, c'est tout simplement parce que les marchands d'énergie n'ont rien à actionner, c'est parce que les usines d'emploi, qui sont la raison d'être des usines de production, n'existent pas ou sont encore beaucoup trop éloignées, jusqu'à nouvel ordre, de la distance à laquelle on ose faire des transports de force à rendements efficaces et rémunérateurs!

Dès lors, à quoi bon asservir toute une industrie pour des besoins à naître? Pourquoi légiférer et dans un sens aussi restrictif en vue d'un avenir aussi incertain. Voyons, par exemple, ce qui s'est passé dans un autre ordre d'idées; on a créé de toutes pièces et à grands frais le port de la Pallice, près de la Rochelle, espérant attirer un mouvement commercial sur ce point de l'Atlantique. Or, tous ceux qui ont admiré le port de la Pallice ont pu hélas! se rendre compte de son calme lamentable! Pourquoi cet insuccès? Pour cette raison bien simple que toute la région des Charentes, du Poitou et du Limousin ne constituent pas un « arrière-pays commercial » suffisant pour alimenter un grand port. On a bien créé un instrument, mais personne ne s'en sert! A Dunkerque, au contraire, comme chacun sait, il en est tout différemment. Eh bien, nous craignons fort que cette domanialisation des cours d'eau non navigables n'arrive à des résultats aussi négatifs, et que le caractère d'utilité d'une modification radicale à la législation actuelle soit des plus contestables. Mais, ajoute-t-on encore, ce n'est pas seulement l'industrie privée qui est paralysée par cette législation insuffisante et vaine, c'est l'intérêt public qui (en dehors de toute conception économique) est en souffrance, par suite de l'inutilisation de l'énergie hydraulique qui pourrait être appliquée aux services publics.

Nous croyons que cette considération de l'alimentation des services publics futurs par les chutes d'eau a été, de bonne foi sans doute, sérieusement exagérée. C'est pourtant cet aspect de la question qui a séduit la plupart des promoteurs du système de la concession — perpétuelle ou temporaire —; cet artifice, ce détour, a-t-on dit, employé pour en arriver à justifier la mainmise de l'Etat sur les chutes d'eau de ce pays ne se suffit pas à lui-même; il faut des motifs plus sérieux pour créer un pareil engrenage; or, la satisfaction de services publics éventuels, qui ne naîtront peut-être jamais, parce que le jour où ils seront nés, la science aura (ce n'est pas impossible) mis à leur disposition d'autres moyens d'action que la force des chutes d'eau; cette satisfaction théorique, disons-nous, mérite-t-elle de voir forger préventivement un instrument tel qu'une loi générale d'expropriation, alors que la loi de 1841 est là pour y pourvoir? Il est permis d'en douter.

En ce qui touche la crainte d'une coalition des intérêts privés qui viendrait étrangler les services publics, elle nous paraît plutôt chimérique. En effet, outre qu'un concert de ce genre entre les représentants de l'industrie privée, en vue du relèvement des prix de l'énergie, soit des plus problématiques au point de vue du succès final, on peut d'abord objecter, qu'en cas d'obstruction, l'Etat aura toujours, quand l'objet en vaudra la peine, la faculté de faire jouer la loi de 1841 et de poursuivre l'expropriation pour cause d'utilité public. En second lieu le projet de la loi sur les distributions d'énergie qui sera nécessairement lié avec la législation sur les chutes d'eau, fournira à l'Etat un moyen très efficace de débattre avec

les particuliers détenteurs de l'énergie hydraulique, les prix actuels et même futurs de cette énergie dont elle aura besoin pour ses services publics.

On peut donc affirmer, que sans parler des impossibilités de groupement des producteurs qui appartiendront souvent, d'ailleurs, à des régions différentes, l'éventualité d'une hausse artificielle du cours de l'énergie est un péril assez médiocre ; il ne faut pas perdre de vue, en effet, qu'en dehors de toutes ces considérations, l'entente de l'industrie privée fut-elle réalisable, il existera toujours pour la réduire et la ramener à un étiage normal l'effet de la grande loi économique de l'offre et de la demande qui dominera toujours la situation du marché !

Résumons donc les réflexions qui nous ont servi à instituer ce débat sur le *principe même de la « concession »*, qui est l'idée directrice des divers projets de loi que nous examinerons en détail dans un prochain article.

Soit que l'on se place sur le terrain exclusivement juridique, en prenant un point d'appui sur le Code Civil et la loi de 1898 ; soit que l'on invoque la législation minière de 1810 et qu'on veuille y trouver une affinité des plus discutables, soit qu'on désire solidariser les intérêts de l'industrie des producteurs d'énergie avec celles qui sont appelées à l'utiliser, en envisageant le point de vue du développement économique du pays ; soit enfin qu'on considère l'intérêt général sous l'angle étroit et incertain du développement des services publics, il est bien difficile d'affirmer qu'on se trouve en présence de ces motifs impérieux et de ces raisons décisives qui permettront d'envisager le principe de l'attribution à l'Etat du pouvoir de concéder l'énergie hydraulique, sinon comme un bien évident, du moins comme un mal nécessaire auquel il faut porter remède.

La notion de ces considérations nous était nécessaire pour nous permettre d'aborder, en poursuivant le cours de cette étude, l'examen des diverses questions que feront naître l'analyse et la critique des propositions qui ont pour objet la réforme de notre législation actuelle du régine des eaux.

(*A suivre.*)

Edmond Juge,
Avocat-conseil.

LA VISION A DISTANCE PAR L'ÉLECTRICITÉ

A propos de l'article de M. Coblyn, paru dernièrement dans ce journal (1), M. Filippo Re nous adresse la lettre suivante :

« Je m'occupai de ce problème il y a plus de six ans, mais je dus m'arrêter devant la difficulté du récepteur, ne connaissant alors ni celui de M. Weiller, ni celui de MM. Ayrton et Perry. La lecture de l'article de M. le lieutenant J.-H. Coblyn, où celui-ci décrit une disposition fort ingénieuse de transmetteur, m'a fait rappeler l'appareil que j'avais imaginé alors, et qui, sauf quelques petites modifications, ne diffère pas de celui que je vais décrire.

» Mais je crois qu'il ne sera pas inutile d'exposer ici les principes sur lesquels repose le problème de la transmission des images à distance, pour mettre les lecteurs au courant de la question.

» On sait depuis longtemps que le sélénium jouit de la surprenante propriété que sa conductibilité augmente dès qu'un rayon lumineux tombe sur lui. Imaginons maintenant deux postes, un transmetteur, l'autre récepteur, faisant partie d'un circuit électrique ; que le premier soit

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXIII, p. 433, décembre 1902.

constitué par un trait de fil de sélénium inséré dans le circuit. Si un rayon lumineux tombe sur le sélénium, le courant aura un passage d'autant meilleur que l'intensité du rayon sera plus grande, et si nous possédons au poste récepteur une disposition quelconque permettant au courant d'y donner naissance à un rayon lumineux d'intensité proportionnelle à celle du rayon primitif, nous aurons réalisé le principe dont il est question.

» Les récepteurs que l'on peut employer sont : celui de M. Weiller et celui de MM. Ayrton et Perry. Nous empruntons une brève description de ces appareils à l'article de M. Coblyn déjà cité.

» Le premier (fig. 1) est constitué par un téléphone T*e*, dont l'espace compris entre la bobine *b* et la plaque vibrante *p* est parcouru par un courant de gaz d'éclairage donnant une petite flamme peu éclairante. Le courant électrique venant du poste transmetteur fera vibrer la plaque du téléphone, et les variations de pression du gaz qui en résultent, feront trembler la flamme qui changera ainsi d'éclat d'après l'intensité du courant et par conséquent d'après l'éclat du rayon primitif. Le second se compose essentiellement d'un galvanomètre sur le cadre multiplicateur duquel se trouve enroulé le circuit primaire du poste récepteur. Les variations d'intensité du courant modifient l'orientation d'une aiguille aimantée qui porte fixée à angle droit une plaque d'aluminium. Cette dernière obture plus ou moins le tube creux formé par le cadre multiplicateur et arrête, dans une certaine mesure, le faisceau de lumière émis par une source à éclat fixe dans ce tube.

» J'ai imaginé une autre disposition que je soumettrai au contrôle de l'expérience, et dont par conséquent il serait inutile de donner maintenant la description.

» Mais je suis convaincu que l'emploi de l'arc électrique chantant, comme récepteur, pourrait donner des résultats très remarquables, en raison de la forte intensité de la lumière qu'il dégage.

» En effet, M. Simon [1] a prouvé que les variations qui ont leur siège dans l'arc et qui produisent les sons, sont en même temps accompagnées par des variations analogues dans l'intensité de la lumière émise. Il a réussi, comme on sait, à reproduire les sons de l'arc, en recevant la lumière de celui-ci sur une cellule à sélénium intercalée dans un circuit comprenant un téléphone et une pile.

» En adoptant la disposition Duddell [2], on devrait supprimer la pile et le microphone et relier une des extrémités du circuit, dont il faisait partie, avec la ligne et l'autre à la terre. Chaque variation de courant du poste transmetteur produira une variation dans l'intensité lumineuse de l'arc.

» On comprend aisément que le problème se complique, si l'on veut transmettre non un point lumineux mais une image. On est conduit alors à faire agir, moyennant un mécanisme spécial, successivement tous les points dont se compose l'image, sur le sélénium, dans un temps très petit, et ajouter au poste récepteur un mécanisme identique au premier mais agissant, pour ainsi dire, en sens opposé, tel que chaque variation de l'éclat lumineux soit distribuée sur un écran en points correspondant aux points de l'image. Si cette distribution est exécutée dans un temps inférieur à 1/10 de seconde, durée de l'impression lumineuse sur la rétine, on apercevra sur l'écran l'image transmise.

» Le mécanisme imaginé par moi et que, d'après la terminologie de M. Coblyn, j'appellerai explorateur ou distributeur, selon qu'il fait partie du transmetteur ou du récepteur, se compose simplement d'un disque D vertical, en tôle métallique (fig. 2), faisant un tour complet, à chaque dixième de seconde, autour d'un axe. L'image à transmettre sera recueillie par le verre dépoli v_1 d'une chambre noire C*n* (fig. 1), situé très près du disque vers la périphérie.

» Le disque est percé de petits trous circulaires *t* distribués sur sa surface selon une loi très simple. Imaginons, par exemple, que ces trous soient dix ; alors le disque sera divisé en dix secteurs égaux. D'ailleurs l'image doit être de telle grandeur, qu'elle ne soit pas traversée simultanément par deux rayons de division. Divisons encore le trait utile de chaque rayon qui peut être

(1) H.-T. Simon. *Physik. Zeitschr.*, 26 janvier 1891, p. 253.

(2) W. Duddell. *The Electrician*, 14 décembre 1900, p. 269.

embrassé par l'image en dix parties égales, et soit a la longueur de chacune de celles-ci. En comptant ces divisions à partir de la périphérie et les rayons de gauche à droite, nous ferons des trous de diamètre a : dans la première division du premier rayon, dans la seconde division du second rayon, dans la troisième du troisième rayon et ainsi de suite. Lorsque le disque tourne, tous les trous viennent successivement se déplacer devant l'image, sans que deux trous s'y trouvent en même temps, et ils décrivent des arcs de cercle dont les rayons vont diminuer toujours de a. Ainsi le découvrement ou, comme l'on dit, l'exploration des divers points de l'image, se fait par lignes parallèles circulaires.

» Par un simple artifice nous pouvons faire en sorte que passent à travers un trou, à un instant donné, seulement ceux des rayons de l'image, qui sont parallèles à l'axe de rotation, et qui proviennent de l'endroit vis-à-vis du trou. Cet artifice consiste à placer dans chaque trou un petit tube cylindrique *tb* parallèle à l'axe et perpendiculaire au plan du disque.

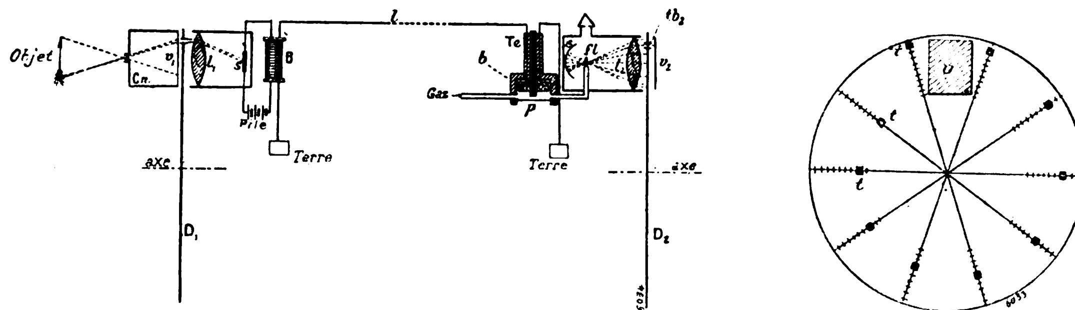


Fig. 1 et 2.

» Les dispositions qui viennent d'être décrites, nous permettent donc de séparer, dans le temps, les divers rayons de l'image. Il faut encore qu'ils agissent sur la même cellule au sélénium S : il suffira de placer devant le disque D_1, en correspondance de l'image, une lentille L_1, et de placer la cellule au foyer de celle-ci.

» Pour chaque rayon on aura une variation de la conductibilité du sélénium et en conséquence du courant qui parcourt le primaire d'un transformateur B, dont le secondaire fait partie du circuit de la ligne de transmission *l*.

» Occupons-nous maintenant du poste récepteur. Ici, comme nous l'avons dit, on a un appareil égal à celui du poste transmetteur, mais fonctionnant en sens inverse. Supposons que nous adoptions la disposition de Weiller. La flamme *fl* sera placée au foyer de la lentille L_2, et au centre d'un miroir sphérique *s*, de sorte que presque la totalité de ses rayons, après avoir traversé la lentille, en sort en un faisceau parallèle à l'axe du disque D_2, identique au disque D_1 ; en v_2 on a un écran de verre dépoli.

» Si les deux disques D_1 et D_2 tournent avec la même vitesse et si les trous ont la même position relative, les rayons de la flamme iront frapper l'écran, à un instant donné, en un endroit correspondant à celui exploré, dans le même instant, sur l'image du poste transmetteur. D'ailleurs l'éclat de la flamme est proportionnel à celui de l'endroit exploré ; on aura donc, pendant une rotation complète du disque, distribués sur l'écran v_2, successivement tous les points de l'image, dans leur position relative et avec leur intensité lumineuse relative. L'œil, en vertu de la persistance des images sur la rétine, apercevra une image identique à l'image du poste transmetteur.

» On voit qu'il est indispensable que les disques aient rigoureusement la même vitesse ; cela peut toujours s'obtenir sans beaucoup de difficultés, quand même les appareils moteurs seraient indépendants l'un de l'autre. Un compteur de tours ajouté à chaque appareil nous renseignera sur leurs vitesses.

» Mais il faut encore que les disques soient synchronisés : nous verrons tout de suite que le

synchronisme, dès que les vitesses sont rigoureusement égales, peut même s'obtenir par un réglage très simple et très facile. Imaginons, par exemple, que le disque distributeur soit avancé sur le disque explorateur d'une demi-circonférence; alors, pendant que celui-ci explore la moitié supérieure de l'image, projetée sur l'écran v_1, l'autre fait la distribution sur la moitié inférieure de l'écran v_2, et lorsque le premier explore la moitié inférieure, le second fait la distribution sur la moitié supérieure. On verra donc au poste récepteur l'image brisée en deux parties égales, et la moitié inférieure superposée à la moitié supérieure. De même on aura l'image brisée en deux, toutes les fois que la différence de phase entre les disques sera d'un nombre entier de secteurs. Si cette différence n'est pas un nombre entier de secteurs, on peut se rendre compte que l'image au poste récepteur sera divisée en quatre parties changées deux à deux en diagonale.

» En tous cas la division de l'image nous renseigne que le synchronisme n'existe pas. On y parvient en imprimant, pendant un temps très court, une très légère pression sur l'axe de rotation du disque D_2, qui en ralentit insensiblement la vitesse. Lorsqu'on a ramené ainsi le disque D_2 dans la même position du disque D_1, savoir lorsqu'on est arrivé à ne pas voir l'image brisée, on soulève la touche et l'on laisse le disque tourner avec sa propre vitesse. Je crois que ce moyen de réglage peut même s'appliquer à l'appareil de M. Coblyn.

» En augmentant la vitesse des disques, compatiblement avec la rapidité de sensibilisation du sélénium on aura des effets meilleurs. »

Filippo Re,
Professeur à Messine (Sicile).

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TRACTION

Système de primes proportionnelles aux recettes et à l'économie de courant réalisée, introduit par les tramways de Reims.

La commande rationnelle des moteurs de tramways a toujours fait l'objet des préoccupations des compagnies exploitantes; la Compagnie des Tramways de Reims a intéressé les wattmen et receveurs à l'économie de courant et aux recettes de la manière suivante :

1° *Recettes.* — La prime allouée est de 1/10 de la recette au-dessus de 0,40 fr par voiture-kilomètre; elle est calculée par trimestre.

Les wattmen touchent la moitié de la prime, répartie d'une façon égale entre eux; la seconde moitié est partagée entre les receveurs proportionnellement à leurs recettes.

2° *Courant.* — Les chiffres de base adoptés pour les primes d'économie de courant sont les suivants :

On distribue au personnel par an :

300 fr	pour une consom. de	465	w-h	par voiture-kilom.
600 »	»	455	»	»
1.000 »	»	445	»	»
1.600 »	»	435	»	»
2.500 »	»	425	»	»

Le nombre des wattmen est de 50 en hiver et de 60 en été. Le poids des voitures est de 7 tonnes à vide.

La moitié de la prime est partagée entre tous les receveurs, la seconde moitié est partagée entre les wattmen proportionnellement à un coefficient dit de consommation par voiture-kilomètre.

La consommation totale de toutes les voitures est donnée par le compteur de l'usine : en la divisant par le nombre de voiture-kilomètres, on a la consommation moyenne par voiture-kilomètre pendant le trimestre.

La consommation de chaque agent est fixée de la manière suivante :

Il y a six voitures munies de compteurs Thomson; les agents se servent successivement pendant une journée de ces six voitures, et leur consommation, pendant cette journée, est relevée au compteur; à la fin du trimestre, ils ont eu les voitures munies d'un compteur un certain nombre de fois; la moyenne des chiffres obtenus détermine le coefficient à leur attribuer.

Remarques. — 1° Les wattmen ont toujours intérêt à économiser le courant même lorsqu'ils

ne conduisent pas une voiture munie de compteur ;

2° Il est indispensable d'intéresser les receveurs à la consommation de courant pour éviter de faux démarrages ou des arrêts inutiles ;

3° Il est indispensable d'intéresser les wattmen à la recette, sans quoi ils laisseront des voyageurs au poteau et ne tiendront aucun compte des horaires, se préoccupant uniquement de la consommation.

Résultats. — Au point de vue des résultats, on a pu d'abord nous convaincre de la grande différence de consommation faite par deux wattmen : avec la même voiture, sur la même ligne, on a eu des différences allant jusqu'à 200 watt-heures par voiture-kilomètre.

Certains wattmen ne consommèrent même pas 425 watts-heure par voiture-kilomètre ; d'autres par contre consommaient 675 watts-heure.

Mais les chiffres de base indiqués plus haut ont été choisis trop bas, et peu à peu, les wattmen s'apercevant que la consommation était toujours au-dessus des chiffres indiqués, s'en sont désintéressés.

D'autre part, la Compagnie a eu beaucoup d'ennuis avec les compteurs qui se sont déréglés.

Enfin, il faut avoir un contrôleur qui s'occupe presque exclusivement de cette surveillance spéciale des compteurs et des agents conduisant les voitures à compteur.

Ces différentes causes ont eu pour suite que l'application de ces primes n'a pas donné les résultats que l'on pouvait en attendre.

Système de prime d'économie de courant introduit par la « Société des Tramways de Magdeburg ».

De son côté la Société des Tramways de Magdebourg a appliqué sur son réseau un système analogue qu'elle expose comme il suit dans une récente circulaire de l'Union internationale de tramways et chemins de fer d'intérêt local.

I. *Introduction.* — La crise industrielle s'est manifestée dans notre exploitation, comme d'ailleurs partout en Allemagne, par des diminutions sensibles de recettes.

La nécessité d'une exploitation aussi économique que possible se faisait donc particulièrement sentir ; aussi avons-nous porté notre attention sur les économies que l'on pouvait réaliser dans la consommation du courant nécessaire à la traction des voitures.

A cet effet nous avons, en juillet 1901, monté à titre d'expérience et alternativement sur différentes voitures motrices, deux compteurs portatifs ; nous avons fait circuler ces voitures, en laissant ignorer aux wattmen l'usage du compteur. Les résultats de ces essais ont démontré que, malgré les instructions données pour la conduite des voitures et malgré la meilleure volonté de la part des wattmen, très peu travaillaient d'une façon réellement économique. Nous avons dû bientôt reconnaître qu'il était impossible de réaliser des économies par voie d'instructions et par une surveillance exercée sur les wattmen par les conducteurs en chef, l'action de ces employés ne s'exerçant d'un côté que pendant un temps très court et les wattmen n'ayant d'un autre côté qu'un intérêt très minime à réaliser des économies au profit de la Société.

L'unique moyen de diminuer les frais de courant, nous a donc paru celui d'intéresser les wattmen dans les économies de la Société ; nous avons, en conséquence, décidé d'introduire un système de primes, semblable à celui introduit par les chemins de fer de l'Etat allemand pour son personnel des locomotives.

La manière la plus simple aurait été de munir chaque voiture motrice d'un compteur, mais comme les dépenses qui résultaient de cette innovation n'auraient pas été à négliger, nous avons décidé de commencer par équiper environ un tiers seulement de notre effectif de voitures motrices ; les wattmen changeant de voiture deux fois par jour, chacun pouvait ainsi recevoir journellement au moins une voiture avec compteur.

II. *Frais d'établissement.* — Nous possédons actuellement 130 voitures motrices. Nous avons acheté 42 compteurs, dont 38 ont été placés dans les voitures et dont 4 sont en réserve pour servir de pièces de rechange lors des réparations et des étalonnages. Le capital de premier établissement s'établit comme suit :

1. Achat de 42 compteurs portatifs U. E. G. à 145 Mks chacun.	6 090,00 Mks
2. Aménagement de 130 motrices pour le montage des compteurs.	562,50 »
3. Installation d'un atelier pour la répa-	

ration des compteurs et se composant de :		
(a) Résistance liquide pour 50 ampères.	47,50	»
(b) Tableau de distribution pour la mesure du courant et de la tension, y compris un voltmètre et ampèremètre combinés portatifs pour 600 volts et 100 ampères.	480,00	»
(c) Petit outillage, loupes, etc., y compris une foreuse et un tour pour petites pièces..	400,00	»
	7 570,00	»

III. *Description du système.* — Les 130 voitures motrices actuelles se composent de trois types différents, savoir :

97	voitures à 2	essieux	pesant	8,2	tonnes	chacune
13	»	2 »	»	9,38	»	»
20	»	4 »	»	10,82	»	»

28 compteurs sont installés dans les voitures du premier type, 4 dans celles du deuxième type et 6 dans celles du troisième type.

Pour ne pas devoir contrôler à chaque changement du personnel de la voiture, le relevé du wattmen et établir la consommation de courant pour chaque changement d'équipe, nous estimons qu'il suffit de faire relever les indications du compteur par le wattman, sous le contrôle du chef du dépôt, chaque matin avant la mise en service de la motrice ; ce relevé sert également à déterminer la consommation du jour précédent. Le chef du dépôt établit alors le rapport journalier donné dans un formulaire, dans lequel il détermine, par soustraction des relevés, la consommation des unités au cadran du compteur, calcule le parcours des motrices en tonnes-kilomètre et note les numéros de service des wattmen qui ont conduit la voiture motrice pendant la journée faisant l'objet du rapport.

La multiplication de la différence entre les lectures du compteur et la constante déterminée par l'étalonnage du compteur, ainsi que le calcul des résultats par tonne-kilomètre sont faits le lendemain aux bureaux de la Direction. Ce dernier calcul a uniquement pour but de contrôler les grandes variations éventuelles du compteur.

Le parcours journalier des voitures en tonnes-kilomètre ainsi que la consommation de courant sont inscrits pour chacun des trois wattmen dans un livre destiné à cet effet.

La répartition proportionnelle des parcours ainsi que celle de la consommation de courant de la voiture sur les trois wattmen n'est pas toujours absolument correcte pour chaque wattmen pris isolément, mais en considération des travaux d'écriture et de comptabilité que cette répartition permet d'éviter, on peut la considérer comme suffisante. Cette manière de calculer offre en outre l'avantage de faire agir le bon wattmen sur le mauvais, de façon à stimuler celui-ci à obtenir un meilleur résultat.

A la fin de chaque décade, les postes du livre des wattmen sont additionnés et séparés, suivant les types de voitures et pour chaque ligne, et inscrits dans un relevé général qui renferme un compte séparé pour chaque conducteur. Les comptes de ce relevé sont arrêtés chaque trimestre ; on prend comme base pour la tonne-kilomètre la consommation moyenne qui en résulte.

Comme la consommation de courant varie non seulement pour chaque type de voiture, mais aussi pour chaque ligne, il était encore nécessaire d'établir une base tenant compte de ces variations. Nous croyons être arrivés à ce résultat en procédant de la manière suivante : les données moyennes journalières par tonne-kilomètre de toutes les voitures motrices de chacun des types, sont additionnées et la moyenne est comparée avec la moyenne des autres types. De cette façon, on détermine la proportion d'un type par rapport aux autres. Admettons par exemple, que la moyenne de la consommation d'un trimestre ait été par tonne-kilomètre :

Pour le type de voiture	A.	48,29	watts-heure.
»	B.	45,71	»
»	C.	37,72	»

Comme base uniforme pour tous les types, la Compagnie admet les résultats accusés par le type B. Les résultats du type C sont, par conséquent, par rapport à ceux du type B, débités de 21,18 p. 100 et ceux du type A crédités de 5,35 p. 100, soit :

Type A . .	48,29 — 5,35 p. 100	= 45,71	watts-heure
» B . .	45,71 + 0,00 »	= 45,71	»
» C . .	37,72 + 21,18 »	= 45,71	»

Après avoir éliminé les différences entre les types de voiture, on a comparé les lignes entre

elles, différant l'une de l'autre au point de vue des courbes et des déclivités. On a trouvé par exemple la consommation moyenne ci-dessous :

Pour la ligne	I	pour	44,851	watts-heure	par tonne-kil.
»	II	»	45,941	»	»
»	III	»	46,592	»	»
»	IV	»	45,905	»	»
»	V	»	46,474	»	»
»	VI	»	46,349	»	»

Comme base on a pris la ligne I de sorte que les autres ont été par rapport à la ligne I, créditées comme suit :

pour ligne	I	de	0,00	p. 100
»	II	»	2,38	»
»	III	»	3,74	»
»	IV	»	2,30	»
»	V	»	3,49	»
»	VI	»	3,23	»

Après avoir de cette manière, éliminé dans la mesure du possible, les avantages et les inconvénients des différentes lignes et des différents systèmes de voiture, on possède de la sorte un moyen de comparaison directe permettant de distinguer les meilleurs wattmen des plus mauvais.

Les 25 plus mauvais wattmen (environ 15 p. 100 du nombre total) sont à la première et à la deuxième fois avertis que leur service laisse à désirer ; à la troisième fois, ils sont informés qu'à moins d'amélioration de leur part, il ne sera pas possible, à raison de leur incapacité notoire de les maintenir dans leur poste et qu'ils seront soit versés dans une classe d'employés à salaire moindre, soit remerciés.

IV. *Calcul des primes*. — Comme base du calcul des primes à accorder aux 35 meilleurs conducteurs (environ 21 p. 100 du total), il a été admis les résultats de l'exploitation en 1901, rapportés en tonne-kilomètre (poids vide). La consommation du courant est mesurée au tableau de la station de force.

Cette consommation a été :

I trimestre	67 086	watts-heure
II »	59 495	»
III »	56 128	»
IV »	62 260	»
soit donc moyenne pour l'année 1901.	61 242	watts-heure

Pour établir l'économie réalisée par rapport à l'exercice 1901, on détermine trimestriellement la consommation moyenne en énergie électrique par tonne-kilomètre. La diminution de consommation comparativement au trimestre correspondant résultant de ce calcul est alors exprimée en argent sur la base des tonnes-kilomètre réellement exécutées et d'après le prix du courant.

Du montant de l'économie effective ainsi déterminée, on déduit :

1° 20 p. 100 du capital d'établissement pour fonds de renouvellement, d'amortissement et pour intérêt ; cette réserve s'élève trimestriellement à	378,50 Mks
2° Les frais de réparation et d'étalonnage des compteurs pendant le trimestre, soit environ. . . .	121,50 »
3° L'augmentation des frais de bureau résultant du supplément de travail occasionné par l'introduction du système.	450,00 »
Total par trimestre. . .	950,00 Mks

Du bénéfice net restant après les déductions ci-dessus, 10 p. 100 sont distribués comme primes aux 35 meilleurs conducteurs susmentionnés.

L'importance des primes est calculée d'après le travail moyen fourni par chaque conducteur, étant admis que la plus petite prime ne sera pas inférieure à 5 mks.

La prime la plus élevée atteint jusqu'à ce jour 78 mks.

V. *Compteurs des motrices*. — Nous employons les compteurs portatifs à watts-heure de l' « Union Elektrizitäts Gesellschaft, de Berlin » ; nous les plaçons sous les banquettes ; une trappe permet de lire leurs indications de l'extérieur. Ces compteurs, calculés pour 100 ampères à 500 volts, occupent très peu de place. Pour diminuer autant que possible l'action des chocs de la voiture sur l'axe de l'induit et la crapaudine, l'induit qui a un nombre d'enroulements très restreint, est contruit très légèrement et le champ magnétique est renforcé par du fer pour obtenir la force d'attraction nécessaire.

Toutes les quatre à six semaines, les compteurs sont démontés, nettoyés et éventuellement réparés et ensuite étalonnés à l'aide d'une résistance liquide. Les variations constatées lors de l'étalonnage varient ordinairement d'environ 6 p. 100.

Pour autant qu'elles n'exigent pas une réfection totale de l'induit, les réparations sont faites dans les propres ateliers de la Société. Jusque maintenant ces réparations ont été très peu importantes; elles se sont bornées pour la plupart au nettoyage des balais et à la mise sur tour des collecteurs.

VI. *Résultat économique.* — L'introduction du système a eu lieu le 1er avril 1902, et jusque maintenant la Direction à été très satisfaite des résultats obtenus. La consommation moyenne de courant par tonne-kilomètre s'est réduite

pendant le 2e trimestre 1902, à . . . 51,62 watts-heure
» . 3e trimestre 1902, à . . . 47,14 »

Les économies nettes que nous avons réalisées, après déduction des réserves spécifiées au n° 4 et paiement des primes aux conducteurs, et en comptant l'énergie au prix de 9 pfg le kilowatt-heure, se sont élevées à :

7 128,86 Mks pendant le deuxième trimestre 1902 ;
8 955,95 » » troisième »

On peut prévoir que, malgré l'abondance de neige pendant la première décade de décembre 1902, on obtiendra un résultat analogue pour le 4e trimestre.

Bien que les résultats de neuf mois ne puissent pas encore servir de base pour se faire un jugement définitif sur l'économie du système, la Société croit cependant avoir démontré l'utilité d'un travail dans ce sens et c'est pourquoi elle livre volontiers son système à la publicité.

TÉLÉGRAPHIE

La théorie de Bose sur les cohéreurs, par **F. Piola**. *L'Elettricista*, t. XII, p. 32, février 1903.

Les différences que l'on constate dans les résultats obtenus par les divers expérimentateurs qui ont étudié les cohéreurs n'ont rien d'extraordinaires si l'on songe aux multiples influences qui entrent en jeu : nature et intensité de l'excitation électrique, nature des limailles et des électrodes, dimension et forme des grains, degré de liberté, état superficiel, diélectrique ambiant, pression, température et conditions diverses du circuit électrique dans lequel est inséré le cohéreur.

Différentes théories ont été essayées pour expliquer ces phénomènes. Celle de Lodge (1) considère les décharges entre conducteurs avec soudure résultante, mais elle ne rend pas compte des actions négatives (augmentation de résistance sous l'action des impulsions électriques), ni des actions temporaires; en outre, les étincelles et les soudures (2) n'ont pas toujours été observées (3); elle n'explique pas davantage la continuité du phénomène.

La théorie de Branly (4), qui s'appuie sur la modification du diélectrique interposé entre les conducteurs, ne rend pas compte de la variété des résultats avec différents conducteurs dans le même diélectrique.

Les théories de Ferrié (5) et de Eccles (6) sont complémentaires des précédentes. Auerbach (7) croit que le phénomène est dû à des vibrations périodiques d'origine mécanique. Guthe et Trowbridge (8) considèrent l'action des ions comme prépondérante. Bose (9) invoque les modifications moléculaires.

C'est cette dernière théorie que l'auteur expose et discute en y rapportant les principaux faits qui ont été observés par divers expérimentateurs.

Les hypothèses sur lesquelles Bose appuie sa théorie sont les suivantes :

1° La radiation électrique produit, dans une substance, des changements moléculaires, c'est-à-dire des modifications allotropiques.

2° L'effet de la radiation est de transformer plus ou moins la condition moléculaire primi-

---

(1) Lodge. *Phil. Mag.*, t. XXXVII, p. 94, 1894. *The Electrician*, t. XL, p. 87, 1897.

(2) Malagoli. *Elettricista*, 1898. *Nuovo Cimento*, sér. 4, t. X, p. 279, 1899. Arons. *Wied. Ann.*, t. LXV, p. 567, 1898. Tommasina. *Comptes rendus*, t. CXXVII, p. 1014, 1898.

(3) Tissot. *L'Éclairage Élect.*, t. XXXII, p. 337, 1902. Aschkinass. *Wied. Ann.*, t. LXVI, p. 284, 1898. Piola. *Elettricista*, 1902. *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 499.

(4) Branly. *Comptes rendus*, t. CXVIII, p. 348, 1894 et CXXX, p. 1068, 1900.

(5) Ferrié. *L'Éclair. Élect.*, t. XXIV, p. 499, 1900.

(6) Eccles. *The Electrician*, t. XLVII p. 682 et 715 1901.

(7) Auerbach. *Wied Ann.*, t. LXIV, p. 611, 1898.

(8) Guthe et Trowbridge. *Physic. Review*, t. XI, p. 22.

(9) Bose. *Proc. roy. Soc.*, London, t. LXV, p. 166, 1899; t. LXVI, p. 452, 1900; t. LXX, p. 154, 174 et 185, 1902. *The Electrician*, t. XLVII, p. 830 et 877, 1901.

tive A en une modification allotropique B (produit de radiation). Ce changement est accompagné d'une modification des propriétés de la substance.

3° La résistivité électrique étant une des propriétés de la matière, tout changement allotropique produit par les radiations devrait être décelé par une variation de la résistivité.

4° Pendant la transformation de l'état A à l'état B, un effort moléculaire est produit, donc à un certain degré de la transformation, il doit y avoir une réaction, un brusque retour vers l'état initial A. Ainsi, quand le changement moléculaire a pris une valeur maxima, l'action de la radiation tend à ramener plus ou moins l'état A; l'effet résultant est indiqué par une inversion de la résistance.

5° La perte définitive de sensibilité, connue sous le nom de fatigue et due à la présence simultanée du produit de la radiation, ou état B, et de l'état primitif A, neutralisant les effets opposés de ces deux états.

Suivant cette théorie, sous l'action des impulsions électriques, une mince couche superficielle des conducteurs en contact est modifiée dans son arrangement moléculaire, ce qui donne lieu à une variation de la conductibilité. Si la substance, dans l'état primitif A, augmente de conductibilité, elle diminue dans l'état modifié B, et inversement. Dans certaines substances, la modification est temporaire, c'est-à-dire dure seulement autant que dure l'impulsion, comme la déformation des corps élastiques; dans d'autres, la modification subsiste comme dans les corps anélastiques. Dans les premiers, l'état B tend à reprendre l'état A; si les actions électriques continuent, il s'établit un équilibre qui maintient la conductibilité constante; dans les seconds, quand le produit B est en quantité telle qu'il neutralise par son action opposée l'état A, l'effet des ondes électriques devient insensible, il y a fatigue. Si, au contraire, B est en quantité plus grande, il y a inversion. Toute action capable de ramener le corps de l'état B en l'état A élimine la fatigue et l'inversion, telle est l'action des chocs ou de la chaleur.

Les phénomènes principaux bien établis auxquels la théorie se rapporte sont :

1° Les vaiations opposées de résistances, permanentes ou temporaires;

2° La continuité des effets;

3° L'inversion.

1. La diminution de résistance sous l'action des ondes électriques fut seule observée au début. Puis Branly [1] constata une augmentation avec l'antimoine, l'aluminium et le bioxyde de plomb. La dissociation [2], ou l'électrolyse, contrairement à ce qu'a pensé Drago [3], n'ont pas d'influence, car on obtient des phénomènes très intenses avec des courants constants, même inférieurs à 3 microampères agissant pendant quelques secondes. En outre, le bioxyde de plomb reprend sa résistance primitive sous l'action des chocs.

Guthe [4] a trouvé que les cohéreurs à contact unique (argent, cuivre, zinc, aluminium, cadmium, étain, fer, argentan, nickel et bismuth), peuvent, suivant les conditions, donner naissance à des variations positives ou négatives.

Bose a constaté, en outre, l'augmentation de résistance pour d'autres substances, potassium, arsenic, etc.; Mizuno [5], pour le zinc et le bismuth.

L'argent se place à part, augmentant ou diminuant de résistance sous l'action des ondes et dans les mêmes circonstances. Bose explique cette singularité par l'hypothèse de deux états allotropiques stables; pour l'un d'eux, l'action est positive permanente; pour l'autre, négative temporaire. Cette hypothèse est justifiée par les recherches de Berthelot [6], qui a observé cinq états allotropiques pour l'argent.

Bien d'autres expériences ont été faites, l'énumération des précédentes suffit pour montrer que la variation de résistance a bien lieu dans les deux sens, que la diminution est due aux mêmes causes que l'augmentation et non à des actions secondaires.

Des expériences de Tommassina [7], de Ferrié [8], et de la marine italienne [9], il résulte que, tandis que certaines substances telles que

---

(1) Branly. *Lumière Électrique*, t. XL, 1891. *Comptes rendus*, t. CXXX, 1900.

(2) Lundorph. *Wied. Ann.*, t. LXIX, 1899.

(3) Drago. *Atti Acc. Giœnia di Catania*, t. V, 1902.

(4) Guthe. *Drud. Ann.*, t. IV, p. 762.

(5) Mizuno. *Phil. Mag.*, t. L, p. 445, 1900.

(6) Berthelot. *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 234, 1901.

(7) Tommasina. *Comptes rendus*, t. CXXX p. 904, 1900.

(8) Ferrié. *L'Éclair. Élect.*, t. XXIV, p. 499, 1900.

(9) A. Banti. *L'Elettricista*, p. 113, 1902.

le fer subissent des variations de résistance permanentes qui ne sont détruites que par des chocs ou par un léger échauffement, d'autres telles que le carbone subissent des variations temporaires et reprennent spontanément leur résistance primitive.

Les substances à action temporaire présentent, en général, sous l'action continue des ondes intenses, des variations permanentes (fatigue), analogues aux déformations permanentes que prennent les corps élastiques lorsque l'on dépasse la limite d'élasticité. Le potassium ne présente pas de fatigue et l'argent négatif ne l'acquiert qu'après des actions très prolongées.

Les différentes substances se comportent ainsi dans des conditions normales, définies par la pression, la température et l'intensité des impulsions électriques. Un accroissement modéré de la température et de la pression augmente la sensibilité et fait que des substances à variation permanente deviennent à variation temporaire; cette action a été montrée, pour la température, par Bose, pour Fe^3O^4, $PbBr^2$, $SnBr^2$, et prévue, pour la pression, par Rochefort [1].

2. Les cohéreurs paraissent, à première vue, donner des indications irrégulières; mais, si l'on prend les précautions nécessaires [2], la marche est très régulière et la variation de résistance suit avec continuité la variation des impulsions électriques.

Pour les décharges à distance, cette continuité est peu facile à mettre en évidence; cependant, Bose, en employant un cohéreur en argent négatif, agissant pendant quinze secondes sur un radiateur déterminé placé à 15, 25 et 40 cm, a noté les variations de résistance 1 000, 360 et 160 ohms, qui sont entre elles approximativement comme les inverses des carrés des distances.

La démonstration est plus facile avec les décharges directes, et l'auteur [3] a trouvé que des cohéreurs d'acier à contact unique, sur lesquels il déchargeait des condensateurs de petite capacité, prenaient des résistances inversement proportionnelles à la quantité d'électricité déchargée.

En employant une différence de potentiel variable avec continuité, Bose [1] et Eccles [2] ont montré que la résistance varie avec continuité. Certains cohéreurs, comme ceux qui sont formés de substances à action temporaire, ont une résistance déterminée pour chaque différence de potentiel déterminée, quel que soit le sens dans lequel varie le potentiel. D'autres, formés de substances à action permanente, ont une résistance différente, suivant que la différence de potentiel croît ou décroît, il y a hystérésis.

Ce dernier phénomène est analogue à l'hystérésis magnétique, et il est remarquable qu'on l'ait rencontré à un haut degré dans le fer et que, d'autre part, les qualités magnétiques de ce métal soient influencées par les radiations électriques [3]. Les chocs et la chaleur qui font perdre à un cohéreur sa fatigue, font aussi perdre le magnétisme résiduel à un corps magnétique; en outre, un champ magnétique parallèle à l'axe du cohéreur à limaille magnétique en augmente fortement la sensibilité [4].

Eccles [5] observe que l'effet de la variation de la force électromotrice aux extrémités du cohéreur est le même, qu'elle soit ou non continue.

Guthe et Trowbridge [6], en expérimentant avec un cohéreur à contact unique, traversé par un courant d'intensité croissante, ont trouvé que la différence de potentiel tend asymptotiquement vers un maximum qui varie d'un corps à l'autre, mais est constant pour un même corps et ne varie pas avec la force électromotrice active du circuit. C'est-à-dire que, une fois obtenu le maximum de la différence de potentiel, toute augmentation de courant entraîne une diminution correspondante de la résistance. Ce maximum semble inversement proportionnel à l'équivalent chimique. Les

(1) ROCHEFORT. *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 830, 1902.

(2) ECCLES. *The Electrician*, t. XLVII, p. 682 et 715, 1901.

(3) PIOLA. *L'Elettricista*, p. 137, 1902.

(1) BOSE. *The Electrician*, t. XLVII, p. 830 et 877, 1901.

(2) ECCLES. *Loc. cit.*

(3) RUTHERFORD, *Roy. Soc. Proc.*, t. LX, p. 184. *Trans. Phil.*, 1897. MARCONI. *L'Elettricista*, p. 197, 1902. WILSON. *Réunion de la B. A.*, Belfast, 1902.

(4) TISSOT. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 902, 1900.

(5) ECCLES. *loc. cit.*

(6) GUTHE et TROWBRIDGE. *loc. cit.*

courbes obtenues par Bose avec son curvographe de conductibilité, pour un récepteur de fer à contact unique, confirment le résultat précédent, puisqu'elles tendent à devenir tangentes à une droite parallèle à l'axe des intensités. Mais le maximum trouvé par Guthe et Trowbridge, pour le fer, est de 0,23 volt, tandis que les courbes de Bose conduisent à une valeur supérieure à 0,47.

Blondel et Dobkévitch [1] ont trouvé qu'en appliquant à un cohéreur une différence de potentiel constante supérieure à une certaine valeur appelée tension critique, le cohéreur ne reprend pas nettement sa résistance sous l'action d'un choc. Cette tension critique est peut-être le maximum de Guthe et Trowbridge ; elle est niée par Eccles et par Bose et, d'autre part, Tissot [2] lui substitue la densité critique de courant.

La continuité du phénomène n'est pas seulement relative à l'action des ondes électriques, elle a lieu aussi pour les dimensions du cohéreur [3].

3. — La cohérence normale peut être inverse, c'est-à-dire que des substances normalement positives ou négatives peuvent devenir dans certaines circonstances négatives ou positives. Cette inversion a lieu soit sous l'action d'ondes très faibles, soit sous l'action continue des ondes électriques.

La première de ces causes produit des effets plus nets dans les substances de moyenne sensibilité. Branly [4] a observé que certains verres platinés, des couches très minces de sélénium mélangé de tellure, et la limaille d'or pur diminuent de résistance avec une différence de potentiel due à 150 éléments au sulfate de mercure mais augmentent par la décharge directe d'une bouteille de Leyde.

Bose trouve qu'un cohéreur d'arsenic récemment pulvérisé, négatif jusqu'à 25 cm d'un radiateur déterminé, devient positif pour des distances plus grandes. Un cohéreur d'osmium positif jusqu'à 250 cm devient négatif au delà.

Lodge avait trouvé que la limaille de fer augmente de résistance sous l'action des radiations très faibles, tandis qu'il diminue habituellement, comme on sait.

Drago [1] confirme que CuS et PbO^2 diminuent de résistance sous l'action des étincelles d'une machine électrique sans condensateurs, tandis qu'ils augmentent si la machine est munie de ses condensateurs.

La deuxième cause d'inversion, c'est-à-dire l'action continue des ondes, ne produit pas seulement, suivant les expériences de Bose, dans les substances à variation permanente, des inversions successivement alternées, mais souvent aussi une diminution progressive de sensibilité [2].

L'hypothèse fondamentale de Bose, et la cause de la fatigue et de l'inversion ne peuvent être soumises directement à l'expérience, puisque, si les modifications moléculaires ont lieu, elles sont peu stables et n'intéressent qu'une quantité extrêmement petite de matière, qui échappe à l'analyse directe.

Il est certain que les actions électriques peuvent produire des modifications allotropiques, il suffit de rappeler la transformation de l'oxygène en ozone par l'effluve, mais c'est précisément l'action des autres ondulations et particulièrement de la lumière qui viennent appuyer l'hypothèse de Bose.

On sait que les vibrations lumineuses produisent dans beaucoup de cas des modifications moléculaires [3]. Les actions photographiques avec tant d'autres [4] sont de cet ordre et non d'ordre chimique. Entre autres preuves de ce mode d'action, on a les expériences de Dewar [5] qui montrent que l'impression a lieu même à — 180° et qu'à cette température, les modifications moléculaires (telles que la phosphorescence) peuvent avoir lieu.

La lumière paraît d'ailleurs agir directement sur les cohéreurs ordinaires dans le même sens que les radiations électriques et cela n'est probablement pas étranger à l'observation de Mar-

(1) Blondel et Dobkévitch. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1123, 1900.

(2) *L'Éclair. Élect.*, t. XXXII, p. 337, 1902.

(3) Eccles. *loc. cit.* Piola. *L'Elettricista*, p. 137, 1902.

(4) Branly. *Lumière Électrique*, t. XL, p. 506, 1891. *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1068, 1900.

(1) Drago. *loc cit.*

(2) Mizuno. *loc. cit.* Marcucci. *Il Nuovo Cimento*, t. XI, p. 173, série 4.

(3) Waterhouse. *Proc. Roy. Soc.*, avril 1900.

(4) Gioppin. *La photographie* (Hœpli, éditeur,) p. 16, 1891.

(5) Dewar. *Roy. Institution*, 26 juin 1891.

coni [1] que dans les appareils radiotélégraphiques la sensibilité est moindre le jour que la nuit.

La conductibilité électrique est quelquefois influencée directement par la lumière, tel est le cas du sélénium [2].

Dans l'action de la lumière, il y a inversion comme dans l'action des rayons électriques. On connaît en effet le phénomène de solarisation par lequel une image photographique, après une longue exposition, de négative devient positive, l'impression latente étant détruite par l'action continue de la lumière. Continuant l'exposition la plaque redevient négative, puis de nouveau positive et ainsi de suite [3].

Les faits établis relativement au fonctionnement du cohéreur et qui servent de base à la théorie de Bose, c'est-à-dire les variations en sens opposés de la résistance, soit permanentes, soit temporaires, la continuité du phénomène et l'inversion semblent suffisamment prouvés par ce qui vient d'être exposé.

Quant à l'hypothèse fondamentale, elle se présente avec une certaine probabilité par suite des analogies qui lient les effets de la lumière et ceux des radiations électriques ; mais elle ne peut évidemment être acceptée définitivement tant que l'on ne peut donner la preuve directe des modifications allotropiques mises en avant.

G. G.

ÉLECTROCHIMIE

***Sur la réduction électrolytique du chlorate de potassium*, par D. Tommasi.**

L'auteur nous écrit :

« A propos des travaux publiés récemment par Bancroft [4], Barrows [5] et Brochet [6], sur la réduction électrolytique du chlorate de potassium, je crois utile de rappeler que dès 1877 [7] m'étant occupé de la même question j'étais arrivé à des résultats presque identiques à ceux obtenus par ces savants.

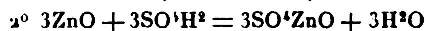
» Voici, en effet, ce que j'avais observé : Si l'on électrolyse une solution de chlorate de potassium acidulée par de l'acide sulfurique, on obtient suivant la nature de l'anode, une oxydation ou une réduction du chlorate.

» Avec des électrodes en platine il y a formation de perchlorate à l'anode sans trace de chlorure à la cathode.

» Si, l'on emploie une cathode en platine et une anode en zinc [1], il y a production de chlorure de potassium à l'anode seulement, mais on n'observe pas de réduction du chlorate à la cathode. La réduction de ce composé, dans ce cas, ne peut être attribuée à l'hydrogène, mais au zinc lequel en se combinant à l'oxygène du chlorate pour former de l'oxyde de zinc réduirait le chlorate en chlorure.



1° $ClO^3K + 3Zn = ClK + 3ZnO$



2° $3ZnO + 3SO^4H^2 = 3SO^4ZnO + 3H^2O$

» Il en est de même lorsqu'on réduit le chlorate de potassium par le zinc et l'acide sulfurique dilué. Dans ce cas, ainsi que je l'ai démontré [2], la transformation du chlorate en chlorure n'est pas due, comme on le pense généralement, au soi-disant *hydrogène naissant*, mais à la combinaison du zinc avec l'oxygène du chlorate.

» Si l'on électrolyse une solution de chlorate ne contenant pas d'acide sulfurique, on observe à l'anode un précipité blanc d'hydrate de zinc.

» Le perchlorate de potassium traité dans les mêmes conditions que le chlorate n'éprouve aucune réduction, alors même que l'on emploierait une anode en zinc.

» J'ai observé également la réduction du chlorate de potassium dans les conditions suivantes :

» Si, dans une solution de sulfate de cuivre contenant du chlorate on introduit du zinc en grenaille, on remarque qu'après quelques minutes le mélange s'échauffe tellement qu'il ne tarde pas à entrer en ébullition et tout le chlo-

(1) Marconi. *L'Elettricista*, p. 215, 1902.

(2) Perreau. *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 956, 1899. Bloch. *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 914, 1901. Masini. *Il Nuovo Cimento*, série 5, t. I, p. 358, 1901. Pochettino. *Rendiconti dei Lincei*, t. XI, p. 286, 1902.

(3) Gioppin. *loc. cit.*

(4) *Transactions of American electrochemical Society*, t. I, p. 65.

(5) *The Journal of physical chemistry*, t. VI, p. 147.

(6) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, de janvier 1903.

(7) *Traité d'électrochimie*, par D. Tommasi, p. 476.

(1) On peut employer, dans cette expérience, à la place du zinc, le cuivre ou le plomb.

(2) Voir pour plus de détails : *Bulletin de la Société chimique de Paris de 1882*, t. I, p. 148, *Traité d'électrochimie*, par D. Tommasi, p. 105 et le *Traité des piles électriques*, par D. Tommasi, p. 121.

rate se transforme en chlorure, tandis qu'une partie du cuivre passe à l'état d'oxyde cuivreux. Le chlorate de potassium est également réduit par l'action du zinc sur le nitrate mercurique ou l'acétate de plomb, par l'action de l'étain ou du fer sur le sulfate de cuivre etc.; mais il n'est pas réduit par l'amalgame de sodium que l'on opère en solution neutre, alcaline ou acide. En présence de l'acide acétique dilué, le zinc ne réduit pas le chlorate mais le couple zinc-cuivre [1] le réduit partiellement. »

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 20 avril 1903.

Recherches sur la convection électrique, par **V. Crémieu** et **H. Pender**. *Comptes rendus*. t. CXXXVI, p. 955-957.

Dans une précédente note [1] les auteurs, après avoir exposé les premiers résultats de leurs recherches en commun, donnaient le principe d'une expérience qu'ils considéraient comme décisive.

Cette expérience consistait à charger un disque au repos, et à voir si sa mise en mouvement produisait une déviation permanente d'une aiguille aimantée. Cette expérience n'a pu être réalisée dans ces conditions ; on a dû s'en tenir à charger un disque animé d'une faible vitesse (2 à 3 tours par seconde) et à augmenter ensuite cette vitesse.

Dans ces conditions, l'aiguille aimantée placée au-dessus du disque prend une déviation permanente, dans le sens et de l'ordre de grandeur prévu pour l'effet magnétique de la convection électrique.

Les auteurs ont ensuite vérifié, par des expériences directes, les points suivants :

1° Un disque continu et chargé, tournant entre des armatures continues parallèles, entraîne sa charge avec lui ; les entraînements mesurés et calculés coïncident à 1 p. 100 près ;

2° Ce même disque produit, suivant les dispositions adoptées, des effets magnétiques, soit par convection, soit par suite des conductions résultant de l'entraînement de la charge (expérience Helmholtz) ;

3° Deux disques continus tournant l'un en face de l'autre, sans interposition d'aucune armature fixe, produisent, lorsqu'on les charge ou décharge brusquement, des effets d'induction magnétique, et lorsqu'ils sont chargés, un champ magnétique permanent conforme à celui prévu pour la convection électrique ;

4° Des secteurs isolés, chargés et tournant à l'air libre dans leur propre plan, de façon à produire soit une convection forme Rowland, soit des courants ouverts [2], donnent naissance à des effets magnétiques de l'ordre de grandeur et dans le sens prévu pour la convection électrique.

Toutefois, au cours des mesures de débit faites dans ces expériences, on constate que les débits de décharge sont, la plupart du temps, plus forts que les débits décharge. De plus, des corps conducteurs, placés dans l'air au voisinage de la trajectoire des secteurs mobiles, se chargent d'électricité de même signe, que celle portée par ces secteurs.

5° La différence essentielle entre les expériences de Pender et celles de Crémieu résidait dans le fait suivant :

Dans le but d'éviter les aigrettes ou les pertes par l'air, Crémieu avait recouvert ses disques et leurs armatures de couches diélectriques minces. Ce que l'on sait sur les diélectriques solides ne permettait pas de prévoir de perturbations attribuables à l'usage de ces couches.

Or, MM. Crémieu et Pender ont constaté que si, dans l'une quelconque des expériences précédentes, on recouvre les disques, secteurs ou armatures de couches de caoutchouc mince ou de mica paraffiné, les effets magnétiques de la convection électrique diminuent ou disparaissent complètement.

---

[1] Ce couple s'obtient en immergeant une lame de zinc dans une solution de sulfate de cuivre à 1 p. 100.

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 76.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXV, 1902, p. 27.

En particulier, en reprenant l'expérience d'induction de Pender, ils ont obtenu, toutes les conditions de charge et de vitesse restant les mêmes :

a. Disques nus, armatures nues. Effets magnétiques donnant 140 mm de déviation au galvanomètre.

b. Disques recouverts de mica, armatures nues. Effets réduits à 100 mm.

c. Disques et armatures recouverts de mica. Effets réduits à 15 mm.

6° Une étude du rôle des diélectriques, qui n'a pu être qu'ébauchée, a paru mettre en évidence les points suivants :

A partir d'un voltage caractéristique de chaque nature du diélectrique, et paraissant indépendant du champ électrostatique auquel ce diélectrique est soumis, la pénétration des charges prend une intensité considérable.

Lorsqu'elle est complète (ce qui demande à peine quelques secondes pour le mica et le caoutchouc), les surfaces métalliques recouvertes par ces diélectriques semblent soustraites à l'influence électrostatique des corps voisins.

Toutefois les particularités du phénomène, qui seront étudiées en détail plus tard, font penser qu'on a affaire plutôt à un phénomène analogue à une électrolyse qu'à une simple pénétration de charge.

« Quoi qu'il en soit de ces phénomènes, nous croyons, concluent les auteurs, pouvoir tirer de l'ensemble de nos expériences contradictoires les conclusions suivantes :

» Des surfaces métalliques chargées, continues ou divisées en secteurs, et tournant dans l'air, dans leur propre plan, produisent des effets magnétiques dans le sens prévu pour la convection électrique et s'accordant à 10 p. 100 près avec l'ordre de grandeur calculé pour la convection.

» L'interposition d'armatures fixes entre les surfaces mobiles et les appareils de mesure semble n'avoir aucune influence sur les effets magnétiques obtenus. »

Sur les propriétés magnétiques de l'atmosphère terrestre, par **Charles Nordmann**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 960-962.

Partant de la découverte, faite par lui, que l'oxygène est magnétique et que ses propriétés magnétiques diminuent quand on le chauffe, Faraday a montré que le Soleil doit, en chauffant successivement les portions de l'atmosphère terrestre qui l'ont à leur zénith, produire un déplacement des lignes de force magnétiques de la Terre qui agit corrélativement sur l'aiguille aimantée. Faraday expliquait de cette manière la période diurne de l'aiguille aimantée; il a développé cette idée dans une série de Mémoires, et un grand nombre de savants l'ont adoptée depuis Il est certain que cette explication, si séduisante. dans sa simplicité, rend compte fort bien, comme l'a montré Faraday, des particularités de la période diurne de l'aiguille aimantée, aux divers points de la Terre, en phase et en direction, c'est-à-dire *qualitativement*.

M. Nordmann a entrepris de soumettre cette idée à un critérium *quantitatif*, à l'aide de données qui manquaient à Faraday et qui été fournies par divers travaux récents.

Faraday, sans d'ailleurs qu'il ait examiné numériquement la question, pensait que si, peut-être, la perméabilité magnétique des couches inférieures de l'atmosphère n'était pas assez grande pour expliquer la grandeur des effets observés, celle des couches supérieures devait être bien plus grande à cause de leur température plus basse et devait, malgré la distance de ces couches à l'aiguille aimantée, expliquer suffisamment l'amplitude des variations de celle-ci.

Or, on sait actuellement que la susceptibilité magnétique k d'un gaz est liée à sa pression P et à sa température absolue par la relation suivante (formule de Curie), où B est une constante,

$$y = An + Bn^2. \qquad (1)$$

$$k = \frac{BP}{\theta^2}.$$

A la température normale et pour l'air à la pression atmosphérique,

$$k = +\,0{,}027.10^{-6}.$$

Pour résoudre le problème posé, il faut trouver comment varie le rapport $\frac{P}{\theta^2}$ lorsqu'on s'élève dans l'atmosphère.

Or M. Teisserenc de Bort a publié [1] des nom-

[1] *Comptes rendus*, t. CXXIX, p. 417-420.

bres et diagrammes qui représentent les températures à différentes hauteurs dans l'atmosphère et à toutes les époques de l'année, telles qu'elles résultent des données de plus de cent ascensions de ballons-sondes munis d'enregistreurs. A l'aide des nombres de M. Teisserenc de Bort, M. Nordmann a calculé les hauteurs moyennes auxquelles se trouvaient respectivement les isothermes 0° C., — 25° C., — 40° C., — 50° C. (l'isotherme + 18° C. étant par hypothèse au niveau de la mer). La valeur de la pression P correspondant à la hauteur moyenne des isothermes considérées est donnée par la formule de Laplace (dans laquelle on peut supprimer le terme hygrométrique qui ne produit que des corrections négligeables ici).

Le tableau suivant met en regard les valeurs correspondantes ainsi trouvées de la température, de l'altitude, de la pression, du rapport $\frac{P}{\theta^2}$ et enfin de k.

t°C.	θ° absolu.	Z altitude moyenne correspondante.	P.	$\frac{P}{\theta^2}$ 10^{-5}.	k
+ 18°	291°	0m	760mm	897	$+0,027.10^{-6}$
— 25	248	6100	351	571	$+0,017.10^{-6}$
— 40	233	8200	261	481	$+0,014.10^{-6}$
— 50	223	10000	148	298	$+0,009.10^{-6}$

Il ressort nettement de ce tableau que, contrairement à ce que croyait Faraday, *la susceptibilité magnétique de l'air atmosphérique diminue à mesure qu'on s'élève*. Elle diminue même assez vite puisqu'elle est déjà réduite du tiers de sa valeur lorsqu'on a dépassé la moitié de la masse atmosphérique et qu'elle n'est plus égale qu'à $\frac{1}{3}$ de sa valeur au niveau du sol, quand la masse atmosphérique est réduite à $\frac{1}{5}$.

Dans ces conditions l'influence des propriétés magnétiques de l'atmosphère sur le champ terrestre est d'ordre absolument infime.

Si l'on considère, en effet, la susceptibilité magnétique de l'atmosphère comme uniforme et égale à sa valeur près du sol (ce qui, d'après ce qui précède, est une valeur maxima extrême) et si nous considérons en un lieu de la terre la position de l'atmosphère située au-dessus, comme un cylindre de dimensions très grandes, l'induction maxima produite par le champ terrestre à l'intérieur de ce cylindre est, dans les conditions les plus favorables,

$$\mathcal{H}_1 = \mathcal{H}(1 + 4\pi k)$$

(en réalité l'aiguille aimantée est non pas à l'intérieur, mais à la base de ce cylindre où l'induction est encore plus faible).

Dans les conditions les plus favorables à la théorie de Faraday, et qui sont des conditions limites maxima, l'effet de l'atmosphère est d'augmenter le champ terrestre de $\mathcal{H} \times 4\pi k$. Or en France la valeur de la force totale du champ terrestre est environ 0,466 C.G.S. La fraction maxima de cette valeur due à l'atmosphère est donc

$$\delta\mathcal{H} = 0,466 \times 4\pi \times 0,027.10^{-6} = 0,412.10^{-6} = 0,0000001412.$$

Or, d'après Faraday, ce sont les variations de la valeur de $\delta\mathcal{H}$, dues au rayonnement solaire, qui produiraient la période diurne de l'aiguille aimantée. Si nous supposons que la chaleur due au rayonnement solaire dans l'atmosphère devienne capable à un moment donné, non seulement de diminuer dans une certaine proportion la valeur de la susceptibilité magnétique de l'atmosphère, mais même de l'annuler complètement, le champ terrestre serait au maximum diminué de 0,000000141 (1). Or la période diurne produit (les années de minima des taches, c'est-à-dire lorsqu'elle est elle-même minima) une variation du champ terrestre égale à 0,00021, c'est-à-dire 1 500 fois plus grande que celle qui se produirait si la perméabilité magnétique de l'atmosphère était tout d'un coup supprimée.

« *Les propriétés magnétiques de l'atmosphère ne peuvent donc avoir*, conclut M. Nordmann, *que des effets infimes sur le champ magnétique terrestre, et en particulier elles ne peuvent produire qu'une fraction complètement négligeable de la période diurne de l'aiguille aimantée.* »

Sur les étincelles électriques, par **B. Eginitis**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 962-964.

1. L'instabilité des phénomènes lumineux des étincelles, que l'auteur a toujours remarquée en étudiant l'influence de la self-induction sur les décharges électriques, l'a amené à la comparaison des variations des phénomènes lumineux et des phénomènes calorifiques des pôles.

Quand la sef-induction du circuit de décharge

(1) Cette variation ne pourrait être décelée par nos appareils d'observation les plus sensibles, tant elle est minime.

augmente, on remarque, pour les petites valeurs de la self-induction, un petit maximum des phénomènes lumineux de l'auréole, avec les métaux du groupe du fer et du platine. Ce maximum est accompagné d'une petite augmentation de la température des pôles. Si l'on augmente de plus en plus la self-induction, les phénomènes lumineux subissent une diminution très rapide, tandis que la température des pôles augmente extrêmement vite et atteint un maximum correspondant à un minimum des phénomènes lumineux. Ces variations sont très bien marquées avec le platine et le fer, tandis que le nickel ne présente pas des variations très nettes.

2° Si l'on continue à augmenter la self-induction, la température des pôles diminue lentement, et présente un minimum, tandis que l'intensité des phénomènes lumineux augmente.

Les fils fins deviennent incandescents et présentent quelquefois une grande dissymétrie. Pour certaines valeurs de la self-induction, c'est l'un des pôles seulement, dépendant de la nature du métal, qui devient incandescent. Dans ce cas, par un agrandissement des étincelles, on voit que le pôle incandescent ne donne pas d'auréole tandis que le pôle froid est le siége des phénomènes lumineux des étincelles [1].

De ces comparaisons résulte que l'apparition des grands échauffements des pôles est accompagnée de la disparition des phénomènes lumineux. Tout ce qui augmente la température des pôles diminue l'intensité lumineuse de l'auréole. Ainsi, M. Eginitis a constaté que, quand les dimensions des pôles diminuent de plus en plus, qu'ils deviennent des fils de plus en plus fins, les phénomènes calorifiques augmentent, tandis que les phénomènes lumineux diminuent. M. Hemsalech avait remarqué, pour le nickel, qu'il vaut mieux prendre des pôles gros, pour avoir de bons spectres. Ce sont les phénomènes calorifiques qui s'opposent à l'emploi des fils fins d'un certain nombre de métaux, dans les recherches spectroscopiques.

3° Ces recherches ont été suivies d'une étude des variations des phénomènes lumineux des étincelles quand on fait varier artificiellement la température des pôles. On reconnaît que le refroidissement des pôles produit une augmentation des phénomènes lumineux, tandis que l'échauffement diminue leur intensité. La grandeur de ces variations dépend de la valeur de la self-induction. Pour certaines valeurs de la self-induction (quand les pôles sont des fils fins) une très petite élévation de la température des pôles suffit pour faire disparaître presque complètement les phénomènes lumineux des étincelles. En même temps les pôles deviennent incandescents. Il y a une température critique des pôles au-dessus de laquelle les étincelles présentent ce phénomène.

Cette température critique peut être atteinte par une augmentation du nombre des interruptions du circuit primaire, ou par une variation de la distance explosive, ou par l'action des étincelles jaillissant pendant un certain temps, etc. Dans ce dernier cas on voit que, tandis qu'au commencement les étincelles sont lumineuses, après un certain temps la température critique est atteinte et les étincelles perdent *brusquement* leur luminosité, tandis que les pôles deviennent incandescents.

[1] La forme conique de l'auréole, dans ce cas, explique la forme des raies qu'on observe souvent.

Séparation électrique des poudres métalliques de la matière inerte, et de la partie métallique d'un minerai de sa gangue, par **D. Negreano.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 964-965.

1° Découpons dans une plaque métallique un disque central [1], et réunissons le disque au pôle positif d'une machine Whimshurst et la plaque au pôle négatif. Projetons ensuite verticalement, à l'aide d'un soufflet pourvu d'un disque en bois à trous très fins, un mélange pulvérulent de sable et de métal. On constate facilement que le sable sera déposé sur le disque central; sur la plaque métallique, on constate d'abord un anneau de sable dans le voisinage immédiat du disque, puis un second anneau plus éloigné de poudre métallique.

L'expérience a été réalisée avec un mélange de sable et des poudres de bronze, argent et or.

2° On peut parvenir d'une façon plus commode à la séparation des poudres métalliques des matières inertes, en dirigeant les expériences d'une façon un peu différente.

Sur une plaque métallique horizontale isolée, on place le mélange pulvérulent et l'on réunit

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 112.

la plaque au pôle négatif de la machine. Approchant ensuite de la plaque un disque métallique mobile mis en communication au pôle positif de la machine, on constate que la poudre métallique est repoussée et en partie déposée sur la partie supérieure du disque.

La séparation se fait d'une façon très nette si l'on opère avec des grains de sable et de métal. Ainsi, se servant des grains de sable et des grains très petits de cuivre ou de bronze, M. Negreano a observé que presque la totalité du métal est déposée sur le disque.

On peut expliquer le dépôt des substances métalliques sur le disque de la façon suivante : dans l'intervalle formé de la plaque et du disque métallique, dont l'ensemble forme un condensateur à air, le champ est uniforme et les lignes de force normales au disque ; au voisinage des bords du disque, les lignes de force se recourbent, de façon que celles qui partent de la plaque au delà de la surface en regard du disque s'infléchissent et viennent aboutir sur le disque ; c'est justement le chemin suivi par les parcelles métalliques qui viennent s'y déposer. Ce fait serait d'ailleurs une confirmation expérimentale des lignes de force construites par Helmholtz, dans le cas d'un condensateur à plaques parallèles.

Le procédé indiqué précédemment pourrait servir, dans quelques cas, à séparer un mélange des métaux réduits en grains très fins. Par exemple, avec un mélange de laiton et de cuivre, l'expérience montre que le laiton est repoussé et déposé sur le disque métallique.

On peut de même séparer, par le même procédé, la partie métallique d'un minerai de sa gangue. Ainsi, en faisant l'expérience avec une roche quartzeuse qui contient de riches imprégnations de pyrite, on observe que la pyrite repoussée est partiellement déposée sur le disque.

Séance du 27 avril 1903.

Sur le rayonnement du polonium et sur le rayonnement secondaire qu'il produit, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 977-982.

Le rayonnement du polonium diffère de celui du radium par l'absence de rayons semblables aux rayons cathodiques. L'auteur a montré récemment [1] que les rayons les plus actifs du polonium étaient formés d'un faisceau sensiblement homogène possédant, comme les rayons α du radium, une faible déviabilité dans un champ magnétique très intense et une dispersion insensible; le sens de la déviation les assimile aux rayons canaux de Goldstein, ce que M. Rutherford avait démontré pour les rayons α du radium.

On ne connaissait jusqu'ici, dans le rayonnement du polonium, que les rayons dont il vient d'être question; ils sont caractérisés par l'absorption très considérable qu'ils éprouvent au travers du papier, du verre, du mica ou des métaux en lames très minces, comme cela résulte des anciennes expériences de M. Becquerel [1] et de celles de M. et Mme Curie [2].

M. Becquerel a observé récemment, dans le rayonnement du polonium, l'existence d'un rayonnement très pénétrant.

Déjà, en 1901, il avait eu l'occasion de reconnaître certains effets de pénétration des rayons de polonium, en étudiant les effets secondaires qu'ils produisent [3].

L'expérience qu'il avait réalisée était la suivante : il possédait alors, depuis un an, une petite quantité d'azotate de polonium, mélangé de bismuth, qui lui avait été donné par M. Curie, et qui, pendant ce temps, s'était déjà affaibli. Ce produit était déposé dans une petite auge rectangulaire, de 4 mm sur 2,5 mm de section, découpée dans une feuille de carton et fermée à la partie inférieure par une feuille de papier noire collée à plat sur les parties pleines. Cette petite auge fut posée sur une plaque photographique non enveloppée et fut recouverte d'une petite gouttière demi-cylindrique de 11 mm de diamètre formée en partie de plomb et en partie d'aluminium. Au bout d'une quinzaine de jours de pose, on obtint sur la plaque, d'une part, une impression faible due à des rayons secondaires venant du cylindre métallique, et, d'autre part, une impression très intense au-dessous de la source reproduisant la projection de la section de l'auge au travers du papier. Or la même feuille de papier, placée sur la matière active,

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 431. *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 382.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 776, et t. CXXIX, p. 1205.

[2] *Comptes rendus*, t. CXXX, p. 73 et 76.

[3] *Comptes rendus*, t. CXXXII, p. 735.

arrête les rayons du polonium. La même expérience fut reprise en augmentant l'épaisseur du fond de l'auge, le rayonnement fut arrêté et les rayons secondaires émis par le demi-cylindre supérieur produisirent seuls une impression très notable.

Les produits qui ont servi à ces expériences ont perdu, depuis, leur activité.

M. et Mme Curie ayant eu l'obligeance de prêter, en vue de l'expérience de déviabilité magnétique rappelée plus haut, quelques grains d'une préparation ancienne de polonium métallique, autrefois très active, mais notablement affaiblie aujourd'hui, M. Becquerel a profité de ce produit pour répéter et compléter ses observations antérieures.

Il a d'abord placé les grains métalliques dans une petite cuve dont les parois étaient formées par une petite bande de plomb de 1 mm d'épaisseur et de 3 mm de hauteur environ, et dont le fond était constitué par une petite feuille de papier noir ; sur la moitié du fond on a collé une lame mince de mica qui débordait de plusieurs centimètres sur tout un côté de la cuve ; on a posé ce dispositif sur la gélatine d'une plaque photographique, et l'on a recouvert la cuve avec la petite gouttière métallique qui avait servi aux anciennes expériences. L'épreuve développée au bout de dix-sept jours a montré une impression intense sous la cuve, dessinant la projection de celle-ci. L'impression s'est faite au travers du mica, bien qu'un peu affaiblie par cet écran. En même temps on observe qu'un faisceau émané directement du polonium, au travers d'une fissure des parois de plomb, a impressionné la plaque sur la partie non protégée, mais n'a pas traversé le mica. Enfin les rayons secondaires émis par la gouttière métallique ont donné une impression très notable, qui s'est produite également au travers du mica tout en étant plus faible.

On a répété alors une expérience toute semblable, en couvrant entièrement de mica la plaque photographique et en substituant à la petite cuve à fond de papier une cuve entièrement en plomb épais, et en couvrant celle-ci avec une gouttière en plomb un peu plus grande.

Au bout de quatorze jours de pose on a obtenu, au travers du mica, sous le cylindre, une impression presque uniforme au milieu de laquelle une partie un peu plus claire indiquait la place de la cuve. Les rayons ayant traversé le fond ont donné dans ce cas un effet un peu plus faible que les rayons secondaires émanant de la paroi intérieure du cylindre de plomb.

Si l'on couvre la cuve avec du papier noir, on arrête les rayons α ; l'expérience faite avec une cuve à fond de papier, fermée en dessus par du papier noir, a montré, au bout de huit jours, une impression secondaire faible sous le cylindre de plomb, et, si l'on tient compte du temps de pose, qui est moitié de celui des expériences précédentes, on peut en conclure que les rayons secondaires sont produits, sinon en totalité, du moins en notable proportion par un rayonnement pénétrant autre que les rayons α. Dans cette expérience, la moitié seulement de la plaque photographique était couverte de mica.

L'impression au travers du fond de papier a été extrêmement intense, même au travers du mica ; le groupement irrégulier des grains inégaux a réparti inégalement l'intensité sur le fond, et l'impression affecte le caractère des effets secondaires [1].

---

[1] L'expérience suivante achève de démontrer l'existence de ces rayons pénétrants :

Sur une plaque photographique entièrement couverte par une lame très mince de mica on a posé, à même sur le mica, un gros grain de polonium métallique ayant environ 3,5 mm de diamètre ; puis, latéralement, à une distance de 2 cm de ce grain, on a mis sur la plaque une sorte de gouttière en plomb de 1 cm de diamètre, de 3,5 cm de long, de 1 cm de haut, dont l'axe était perpendiculaire à la direction moyenne passant par le grain de polonium. Du côté exposé au rayonnement du polonium, la gouttière présentait une paroi dont une partie avait été légèrement repliée vers l'intérieur et dont l'autre partie, restée verticale, comprenait une région pleine en plomb de 1 mm d'épaisseur, puis deux fenêtres fermées, l'une par une lame d'aluminium, l'autre par une lame de cuivre chacune de 0,10 mm d'épaisseur. L'épreuve a été développée au bout de 10 jours de pose. Au-dessous de la position qu'occupait le grain, on remarque une tache ronde de 5 mm environ de diamètre s'étendant à peine à quelques millimètres au delà par diffusion et au centre de laquelle, dans l'impression très intense, on peut distinguer la projection de la surface du grain de polonium et des inégalités de la surface ; puis latéralement, à 2 cm de distance, on voit une impression uniforme sur toute la partie qui était recouverte par la gouttière de plomb. Les rayons α du polonium n'ont pas traversé le mica : l'impression sous la source, qui ressemble aux taches observées sous les petites cuves de plomb contenant du radium, est due à des rayons secondaires provoqués à la sortie du mica par des radiations pénétrantes dont l'action s'est affaiblie progressivement à mesure que l'épais-

Des trois parties distinctes qui constituent le rayonnement du radium il semble donc que le rayonnement du polonium en possède deux, et que la partie de nature cathodique soit la seule dont on n'ait pu reconnaître la présence.

M. Becquerel ajoute encore quelques considérations relatives au rayonnement de l'uranium. Le rayonnement de ce corps ne possède pas de rayons analogues aux rayons α du radium et du polonium. L'auteur a démontré déjà antérieurement [1] que l'impression obtenue dans l'air sur une plaque photographique, par les rayons de l'uranium, était entièrement produite par des rayons déviables comme le sont les rayons cathodiques.

Il a refait récemment l'analyse magnétique du rayonnement émis par l'uranium, en utilisant l'action sur une plaque photographique et en opérant dans le vide presque complet. L'impression obtenue a été encore entièrement déviée et dispersée sans trace de rayons non déviables actifs; la pose avait duré quarante-trois jours. On ne trouve donc pas, dans le rayonnement de l'uranium, des rayons de la nature des rayons α dont l'activité photographique soit relativement plus grande que celle des rayons cathodiques, comme on l'observe avec le radium ; d'un autre côté, on ne peut attribuer l'absence de ces rayons à une absorption par l'air.

---

seur de la matière traversée obliquement a été plus grande. La gouttière en plomb a été atteinte par des rayons pénétrants qui ont traversé les divers métaux et entre autres le plomb sous une épaisseur de 1 mm.

Ces rayons ont provoqué des rayons secondaires sur toute la surface intérieure de la gouttière. Ils n'en ont pas excité du côté de la face d'entrée exposée au polonium ; à la sortie de la paroi d'incidence, on remarque des maxima d'action derrière le cuivre et derrière le plomb, une action un peu moindre que les précédentes derrière l'aluminium, et un maximum tout le long du bord intérieur de la paroi du fond. En regard de la portion de paroi un peu repliée vers l'intérieur et présentant au rayonnement incident une face inclinée vers la plaque photographique, il n'y a pas eu d'impression. L'action n'apparaît qu'à l'intérieur après avoir traversé la paroi. Enfin on constate que, sauf un très léger voile, il n'y a pas d'impression ni en avant, ni au delà de la gouttière métallique.

Ces divers détails sont donnés parce qu'ils ont tous leur importance, et qu'ils concordent pour montrer que ces rayons pénétrants produisent des effets tout à fait semblables à ceux des rayons pénétrants du radium filtrés par une notable épaisseur de métal.

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXIV, p. 208.

Dans ses premières expériences électriques relatives au rayonnement de l'uranium, M. Rutherford avait observé une partie très absorbable, très active pour ioniser l'air, et qu'il avait également appelée des rayons α. Ces rayons, d'après le même auteur, seraient photographiquement inertes.

M. Becquerel a rencontré également une partie très absorbable du rayonnement de l'uranium dans les expériences faites à la température de l'air liquide, mais il ne pense pas qu'il faille les confondre avec les rayons canaux essentiellement actifs, relativement plus actifs au point de vue photographique que ne le sont les rayons cathodiques, et la dénomination des rayons α appliquée à cette partie du rayonnement de l'uranium est de nature à créer une confusion.

Sur l'entraînement de la charge dans les expériences de convection électrique, par **N. Vasilesco Karpen**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 998-1000.

Un disque, portant une charge électrique variable, tourne autour de son axe ; dans quelle mesure la charge est-elle entraînée par son support ?

La charge en mouvement produit un flux magnétique variable qui, à son tour, provoque des forces pondéro-motrices tendant à s'opposer au mouvement du disque. C'est dans cet effet, dont la nécessité a été démontrée par M. Lippmann [1], il y a déjà vingt-quatre ans, qu'il faut chercher la réponse à la question précédente.

On admet aujourd'hui que la variation du flux magnétique produit un véritable champ électrostatique, les forces pondéromotrices seraient donc appliquées au disque par l'intermédiaire de la charge qu'il porte et qui, sous l'action du champ électrique créé, glisse avec frottement sur le disque en s'opposant à son mouvement.

Dans cette hypothèse, on peut se proposer de calculer le glissement N', c'est-à-dire le nombre de tours que fait la charge, par rapport au disque, dans l'unité de temps.

Soient : dQ la charge qui se trouve, à un moment donné, sur une couronne du disque infiniment déliée et de résistance R ; e et di la force électromotrice et le courant induits, dans cette couronne, par la variation du flux magnétique.

---

[1] *Comptes rendus*, t. LXXXIX, p. 151.

Le courant di a pour valeur $\frac{e}{R}$; d'un autre côté, ce courant est constitué par le transport, en sens contraires, des quantités $+dq$ et $-dq$ mises en liberté par la force électromotrice, auxquelles vient s'ajouter la charge dQ ; il a donc aussi pour valeur $(2dq + dQ)N'$ [1].

Si l'on égale les deux expressions de di, il vient :

$$N' = \frac{e}{R(2dq + dQ)}.$$

C'est le glissement cherché, il est proportionnel à l'épaisseur du disque et à la force électromotrice induite. Il en résulte que, quel que soit l'ordre de grandeur de dq :

1° Le glissement sera nul, quelle que soit la nature du disque, dans les expériences où l'on utilise l'action directe, sur l'aiguille aimantée, du champ produit par la convection. Il n'y aurait de glissement qu'au moment de la création du champ, la charge finissant par être complètement entraînée.

2° Le glissement sera inappréciable dans le cas des secteurs isolés, de la dorure, ou de tout autre couche métallique continue, mais mince.

Dans le cas des disques métalliques épais, il faut faire une hypothèse sur la grandeur de dq.

Si les quantités d'électricité séparées à l'intérieur d'un conducteur par une force électromotrice étaient beaucoup plus grandes que celles dont on peut le charger électrostatiquement, le glissement serait inappréciable dans tous les cas. C'est ce que l'expérience semble vérifier jusqu'à présent.

Dans toutes les expériences faites à ce sujet, M. Karpen a employé le dispositif décrit dans une Note précédente [2].

1° Disque d'ébonite couvert de secteurs en papier d'étain, isolés les uns des autres et mis en communication avec la source d'électricité, par l'intermédiaire de très grandes résistances formées d'eau distillée ;

2° Même dispositif, les résistances liquides étant supprimées ;

3° Même disque couvert de papier d'étain continu de $\frac{1}{40}$ de millimètre d'épaisseur ;

Les autres conditions étant identiques, les déviations ont varié, dans chacune de ces trois séries d'expériences, entre 55 et 60 mm.

4° Disque d'aluminium de 1,2 mm d'épaisseur. La charge peut glisser librement ;

5° Même disque couvert d'abord de papier isolant par-dessus lequel ont été collés des secteurs en papier d'étain, entraînant complètement la charge.

Les autres conditions étant identiques, les déviations ont varié : pour la série 4°, de 28 à 31 mm, et pour la série 5°, de 30 à 34 mm.

Cette légère différence n'est pas concluante, elle peut être attribuée à une différence dans la position du disque par rapport aux armatures qui ont été déplacées entre ces deux séries.

L'auteur se propose de reprendre ces deux séries d'expériences avec un disque d'aluminium de 4 mm d'épaisseur, pouvant tourner beaucoup plus vite, et pour lequel la différence entre les deux séries devra être plus accentuée si le glissement est appréciable, ce qui, jusqu'à présent, paraît peu probable.

Remarque. — Les deux dernières series ne peuvent pas être comparées aux séries précédentes, car il intervient un facteur nouveau ; le disque d'aluminium, malgré sa faible épaisseur, forme un puissant écran électromagnétique ; il réduit les déviations à la moitié de ce qu'elles seraient avec le disque d'ébonite.

C'est la raison pour laquelle M. Karpen a eu recours à l'article décrit au 5°.

[1] Admettant que toutes les charges sont transportées avec la même vitesse.

[2] *Comptes rendus*, 9 mars 1903 ; *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 77.

Sur la cémentation du fer, par **Georges Charpy**.
Comptes rendus, t. CXXXVI, p. 1000-1002.

La cémentation du fer a fait surtout, jusqu'ici, l'objet de recherches qualitatives, dont beaucoup avaient pour but de déterminer le mécanisme de la cémentation, mais on ne possède que très peu de données quantitatives précises relatives aux particularités de ce phénomène. Il est très important, en particulier, de savoir si la cémentation est limitée, dans des conditions données, à une certaine teneur en carbone du métal. Les seules données d'ensemble que l'on possède sur ce sujet se trouvent dans un Mémoire de Mannesmann qui donne une courbe indiquant la teneur en carbone qui limite, à différentes températures, la cémentation du fer. Les procédés suivis pour déterminer cette courbe ne sont pas décrits et les températures y sont manifes-

tement inexactes, la température de fusion du fer étant prise égale à 2000°.

Au cours de recherches sur la cémentation, M. Charpy a effectué de nombreux essais en vue de déterminer la limite de la cémentation dans diverses conditions.

Les céments examinés étaient : le graphite, le charbon de bois, calciné ou frais, pur ou mélangé de carbonates alcalino-terreux, le noir animal, le gaz d'éclairage, l'oxyde de carbone, le cyanogène, le cyanure de potassium. De l'acier doux, sous forme de limaille, de copeaux ou de fils de plus ou moins grand diamètre, était chauffé pendant des temps variables au moyen de fours électriques, dont un pyromètre Le Chatelier permettait de suivre la température.

L'ensemble de ces essais conduit à conclure que, quel que soit le cément employé, quelle que soit la température, la cémentation n'est pas limitée par la solubilité du carbone dans le fer.

Lorsque le métal soumis à l'expérience est saturé de carbone, ce qui arrive au bout d'un temps qui est fonction des dimensions de l'échantillon, de la nature du cément (lequel fournit plus ou moins de carbone par unité de temps) et de la température (dont l'élévation augmente la vitesse de diffusion du carbone), il peut se séparer, en certains points du métal, des cristaux de cémentite ou carbure de fer, qui se développent graduellement par suite des oscillations inévitables de la température maintenue physiquement constante.

On peut donc, alors que la solubilité du carbone dans le fer correspond à une teneur très faible, transformer intégralement le métal en carbure de fer contenant 6,67 p. 100 de carbone, de même qu'une quantité limitée d'eau, maintenue à température constante en présence d'un excès de sulfate de calcium anhydre, peut se transformer intégralement en sulfate de calcium hydraté [1].

La vitesse de diffusion du carbone étant très faible aux températures d'environ 600 à 700°, il est bon, pour arriver à la saturation, d'opérer sur des limailles fines. Si l'on traite, dans les mêmes conditions, un fragment de métal de dimensions appréciables, on constate qu'il se forme à la surface une couche de carbure de fer, à peu près pur, qui se fendille quand on plie le métal ; puis vient une couche à cémentation variable qui n'a que quelques centièmes de millimètre d'épaisseur.

Quand on opère à température plus élevée, le carbure de fer, qui n'est pas une forme stable, se décompose en donnant du graphite. Par un mécanisme analogue à celui qui a été indiqué pour la formation du carbure de fer, le carbone qui se dissout en un point va se séparer en un autre sous forme de graphite, et, comme le produit séparé ne contient pas de fer, la réaction peut continuer indéfiniment [1].

« En résumé, conclut l'auteur, la cémentation n'est pas limitée par la solubilité du carbone dans le fer. Elle permet d'obtenir, soit dans des combinaisons particulières et spécialement à basse température, la transformation du fer en carbure de fer, corps métastable, soit, dans les conditions normales, la transformation indéfinie du carbone en graphite par l'intermédiaire d'une quantité limitée de fer. »

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Leeds

Séance du 19 mars 1903.

Distribution d'énergie électrique dans les petites villes et les villages, par **A. B. Mountain**. *Electrical Review* (Londres), t. LII, p. 548-550, 27 mars 1903.

L'auteur examine, dans cette communication,

---

[1] L'auteur cite à ce sujet l'expérience suivante :

De l'acier doux, en limaille fine, a été maintenu à une température de 650° environ dans du cyanure de potassium fondu. Après des durées variables, on retirait une certaine quantité de limaille dans laquelle on dosait le carbone. On a ainsi trouvé :

Après 48 heures de chauffage.	4,50 p. 100 de carbone.	
— 86	—	6,72 —
— 110	—	6,72 —

Au bout de 85 heures de chauffage, le fer était donc intégralement transformé en carbure de fer et ne subissait plus de modification ultérieure ; on a vérifié que le produit ainsi obtenu était entièrement soluble dans les acides et ne contenait pas trace de carbone libre.

[1] En chauffant un fragment d'acier de 3 mm de diamètre dans un courant de gaz d'éclairage, à 1000° environ, pendant 64 heures, M. Charpy a obtenu un produit contenant 8,32 p. 100 de carbone, dont 7,66 p. 100 à l'état de graphite.

Dans un autre essai, de la limaille d'acier chauffée à 1000° dans l'oxyde de carbone contenait, après 36 heures, 9,27 p. 100 de carbone, dont 8,27 à l'état de graphite.

les difficultés qui s'opposent à l'emploi de la lumière électrique dans les petites villes et dans les villages, où ce mode d'éclairage a pris fort peu d'extension jusqu'ici.

La première difficulté est le défaut d'initiative et d'énergie, qu'on remarque dans toutes les communes de faible importance. Les Compagnies locales d'éclairage par les gaz favorisent naturellement cette apathie.

La seconde est celle-ci : on croit que les frais de premier établissement sont considérables et que les petites usines génératrices sont forcées de vendre l'énergie à un tarif trop élevé pour que leur exploitation puisse devenir prospère. Il est cependant possible, par un choix judicieux du système, par l'établissement rationnel de l'usine et des canalisations, d'obtenir un succès commercial avec l'entreprise la moins importante. Les frais d'installation y sont même relativement moindres que dans une grande ville, où l'on doit dès le début établir une usine et des canalisations importantes, en vue du développement futur de la clientèle. Il est d'ailleurs inexact que les petites usines ne puissent vendre l'énergie électrique à un taux raisonnable sans sacrifier leurs bénéfices : beaucoup d'entre elles appliquent des tarifs compris entre 0,40 fr et 0,60 fr le kilowatt-heure. De plus, le gaz coûte beaucoup plus cher dans les petites villes que dans les grandes et l'on constate généralement que l'électricité à 0,45 fr le kilowatt-heure est préférée au gaz vendu 0,12 fr le mètre cube.

En troisième lieu, l'idée assez répandue que les Compagnies de distribution alimenteront un jour même les petites villes et les villages, paralyse l'initiative locale. Cette prévision ne peut pourtant guère se réaliser et d'ailleurs, selon les plus récentes informations, ces Compagnies tarifieront l'énergie à 0,25 fr l'unité, tandis que des machines à vapeur ou à pétrole pourront la produire à 0,05 fr ou 0,10 fr.

Enfin la quatrième difficulté, la plus fréquente peut-être, vient d'abord des dépenses à faire pour obtenir l'autorisation indispensable du Parlement, ensuite des règlements trop étroits du « Board of Trade » et du «Local Government Board ». On peut en effet reprocher aux pouvoirs publics de ne pas assez encourager les entreprises locales.

Difficultés techniques. — Il existe en Grande-Bretagne et en Irlande environ 500 petites villes et 2 000 à 3 000 villages, dont fort peu possèdent un réseau de distribution d'électricité.

Pour l'ingénieur, les principaux points à considérer sont les suivants :

1° Le nombre probable de clients et d'appareils récepteurs qui seront reliés au réseau dans l'espace des deux ou trois premières années, et le développement maximum possible de l'entreprise.

2° La demande maxima à laquelle l'usine génératrice devra pouvoir satisfaire ;

3° Un emplacement favorable pour l'usine génératrice ; le genre de force motrice et le système de production de l'énergie électrique ;

4° Le meilleur système de distribution et la connexion des consommateurs au réseau.

L'expérience seule peut permettre d'évaluer correctement le premier point. Il est évident que plus le tarif sera bas, plus la clientèle s'accroîtra vite. C'est le meilleur parti à prendre, quand même le premier exercice et peut-être aussi le second se solderaient par une perte. On peut compter, en général, que la majorité des immeubles dont la valeur dépasse un certain chiffre deviendront des abonnés du réseau, et dans les cas où l'on peut fournir gratuitement les compteurs et quelques lampes, on s'assure un grand nombre de petits clients.

Pour le second point, la consommation maxima ne paraît pas devoir excéder, pendant les deux ou trois premières années, la moitié des lampes installées, et elle se réduit graduellement au tiers du total des lampes.

Le troisième point, c'est-à-dire le choix du genre de force motrice, a, dans bien des cas, causé beaucoup de souci à l'auteur. Dans beaucoup de petites villes, l'incinération des gadoues est liée à l'entreprise de distribution d'électricité, le choix du genre de force motrice doit donc s'adapter aux circonstances locales. Il y a intérêt à donner des exemples des diverses sortes d'installations qu'on peut faire pour une petite ville, peuplée d'environ 7 000 habitants.

On estime que dans le cours des deux premières années, 3 000 lampes de 8 bougies seront reliées au réseau et qu'à la fin de la dixième années leur nombre aura été porté à 14 000. La machinerie à installer dès le début devra donc avoir une puissance de 60 kilowatts et pourra être divisée en deux groupes, l'un de 20 kilowatts l'autre de 40. C'est cette dernière puissance

qu'on adoptera pour les groupes installés plus tard.

Considérons d'abord la production seulement. Les dépenses à faire pour l'installation de l'usine seront les suivantes :

Pétrole

Bâtiments et fondations	6 000 fr.
Deux moteurs, dynamos et tableau	30 000 »
Groupe de 4 chevaux tenant lieu de batterie d'accumulateurs	3 000 »
	39 000 fr.

Gaz de ville

Bâtiments et fondations	6 000 fr.
Deux moteurs, dynamos et tableau	26 000 »
Groupe de 4 chevaux tenant lieu de batterie d'accumulateurs	2 500 »
	34 500 fr.

Gaz de gazogène

Bâtiments et fondations	12 500 fr.
Deux moteurs, dynamos, tableau et gazogène	34 000 »
Accumulateurs	4 500 »
	51 000 fr.

Vapeur

Bâtiments et fondations	18 500 fr.
Deux machines, dynamos, tableau et chaudières	37 000 »
Accumulateurs	4 500 »
	60 000 fr.

Pour déterminer le prix de revient moyen de l'énergie engendrée, on peut admettre que dans la seconde année 30 000 kilowatts-heure seront distribués. Pour chaque genre de puissance motrice, les frais seront donc approximativement les suivants :

Pétrole

	par kw h.
Pétrole	0,05 fr.
Huile, déchets et réserves	0,012 »
Personnel de l'usine	0,04 »
Réparations	0,02 »
Direction, loyers et contributions	0,037 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,05 »
Intérêt à 4 p. 100	0,05 »
Coût de production du kilowatt-heure vendu	0,259 fr.

Gaz de ville

A 0,093 fr. par mètre cube. On admet 0,675 mètre cube par kilowatt-heure

	par kw h.
Gaz	0,06 fr.
Huile, déchets et réserves	0,012 »
Personnel de l'usine	0,04 »
Réparations	0,02 »
Direction, loyers et contributions	0,037 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,045 »
Intérêt, à 4 p. 100	0,045 »
Coût de production du kilowatt-heure vendu	0,259 fr.

Gaz de gazogène

	par kw h.
Coke	0,025 fr.
Huile, eau	0,02 »
Personnel de l'usine	0,06 »
Réparations	0,024 »
Direction, loyers et contributions	0,037 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,065 »
Intérêt, à 4 p. 100	0,065 »
Coût de production du kilowatt-heure vendu	0,296 fr.

Vapeur

4,5 kg de menus par kilowatt-heure, à 10 fr. la tonne

	par kw h.
Menus	0,042 fr.
Huile, eau	0,02 »
Personnel de l'usine	0,06 »
Réparations	0,024 »
Direction, loyers et contributions	0,037 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,077 »
Intérêt, à 5 p. 100	0,077 »
Coût de production du kilowatt-heure vendu	0,337 fr.

Ces chiffres montrent combien il est important de n'immobiliser qu'un faible capital. On dira peut-être qu'il n'est pas nécessaire de réserver 4 p. 100 pour la dépréciation et l'intérêt, mais il faut mieux se baser sur des évaluations parfaitement sûres.

Dans les usines empruntant l'énergie au pétrole ou au gaz de la ville, il sera bon d'installer de petits groupes électrogènes qui fourniront le courant nécessaire entre minuit et la fin de la journée suivante. Ils peuvent fonctionner sans aucune surveillance et occasionnent bien moins de dépenses et d'ennuis que les accumulateurs.

Si c'est à la vapeur qu'on a recours, on réalisera une grande économie de frais d'installation en adoptant la chaudière type locomotive,

qui supprime les cheminées de briques et les carneaux. Il sera préférable de marcher sans condensation pendant les premières années.

Système de distribution. — Dans la plupart des petites villes, le système de distribution par courant continu, à deux fils, sous une différence de potentiel de 200 ou 220 volts, sera le mieux approprié, mais pour les grandes distances, le courant alternatif à 200 volts avec transformateurs élévateurs et réducteurs de tension vaudrait mieux.

Dans beaucoup de petites localités, les habitations sont disséminées sur une grande étendue et la longueur de canalisations qu'il faut poser par abonné est bien plus considérable que dans les grandes villes. La dépense sera réduite si l'on adopte les canalisations aériennes.

Supposons qu'il y ait 120 abonnés reliés au réseau et 4,5 km de canalisations, la section des câbles étant de 62 mm² (il n'y a pas lieu, si on emploie la canalisation aérienne, de poser dès le commencement d'aussi gros câbles); les dépenses s'évalueront ainsi :

Système de distribution par canalisations souterraines

4,5 km de câbles à âme simple, de 62 mm² de section, posés dans des caniveaux de bois	32 000 fr.
20 boîtes de jonction	2 000 »
120 boîtes de raccordements privés	6 000 »
120 installations d'abonnés, comprenant les compteurs, les fusibles et la pose	13 500 »
	53 500 fr.

Système de distribution par canalisations aériennes.

4,5 km de conducteurs, de 62 mm² de section, fixés sur des poteaux de bois	19 000 fr.
120 installations d'abonnés, comprenant les compteurs, les fusibles et la pose	12 000 »
	31 000 fr.

Dans le système de distribution par câbles souterrains, les dépenses par kilowatt-heure seront les suivantes :

Personnel	0,012 fr.
Réparations	0,016 »
Direction, loyers et contributions	0,016 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,069 »
Intérêt, à 4 p. 100	0,069 »
	0,182 fr.

Avec les canalisations aériennes, ces dépenses seront :

Personnel	0,012 fr.
Réparations	0,016 »
Direction, loyers et contributions	0,016 »
Dépréciation, à 4 p. 100	0,04 »
Intérêt, à 4 p. 100	0,04 »
	0,124 fr.

Si l'on ajoute à cela les frais de production, soit 0,259 fr, le prix de revient total du kilowatt-heure, avec canalisations aériennes, s'évalue à 0,383 fr pour la seconde année d'exploitation. Les petites entreprises réaliseront donc des bénéfices en tarifant l'énergie entre 0,40 et 0,45 le kilowatt-heure.

On remarquera que le prix des installations d'abonnés, compteurs, etc., est compris dans les chiffres ci-dessus. P. L.

Section de Manchester.

Séance du 17 mars 1903.

Sur le potentiomètre Crompton, par **W.-A. Price.** *Electrical Review* (Londres), t. LII, p. 594, 3 avril 1903.

Le potentiomètre Crompton ayant été déjà décrit dans ce journal (*Éclairage Électrique*, t. XXV, p. 411), nous ne reproduirons pas les détails donnés par l'auteur sur sa construction. Il conseille l'emploi de l'élément Weston au cadmium et au mercure de préférence à l'élément Latimer-Clark. L'élément Weston a l'avantage de n'être pas détruit par un court-circuit et de ne pas changer de résistance avec la température.

Le potentiomètre, employé avec un couple thermo-électrique, peut servir à déterminer la température des gaz dans les carneaux de fumée et les fours.

Le couple dont se servent MM. Crompton se compose de deux fils, l'un en platine, l'autre en platine iridié, tordus ensemble à l'une de leurs extrémités et enfilés dans un tube de porcelaine; les extrémités libres sont fixées à deux grands plots de cuivre, reliés au potentiomètre. Ces plots servent à maintenir toutes les parties, sauf le couple lui-même, à une température uniforme et basse.

L'auteur présente un de ces couples et le fait servir à diverses expériences, qui sont la partie la plus intéressante de la communication.

La première consista à placer le couple dans du cuivre en fusion; la connexion avec le poten-

tiomètre ayant été établie, l'instrument donna une indication sur l'échelle d'un galvanomètre à miroir. Quand on laissa refroidir le cuivre, le voltage tomba rapidement jusqu'à un certain point et devint alors presque stationnaire. La température correspondante, comme l'explique M. Price, était celle de la solidification. On a donc là un procédé très simple et très exact pour obtenir ces températures.

La seconde expérience servit à montrer que l'acier présente trois points de recalescence, c'est-à-dire des températures auxquelles, en raison des changements chimiques qui se produisent pendant le refroidissement, l'acier se réchauffe, et la température s'élève légèrement, quoique toutes les sources extérieures de chaleur aient été retirées. On chauffa un morceau d'acier et le *spot* de l'échelle du galvanomètre montra nettement l'arrêt qui se produit aux deux points de recalescence les plus bas. On n'a pas réussi à déceler le point le plus élevé.

Pour l'acier au tungstène, ces points sont situés l'un à 560° C, un autre à 360° C et le troisième à la température où l'acier devient noir.

Cette détermination des points de recalescence donne d'utiles indications sur la qualité de l'acier, en particulier dans la fabrication des aimants permanents. P. L.

AMERICAN INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERS

Séance du 27 février 1903.

Cette séance a été entièrement consacrée à la question de l'éclairage des trains par l'électricité. Après un exposé sommaire du président, M. Scott, trois systèmes utilisant des dynamos calées sur les axes des voitures ont été successivement décrits par MM. W.-L. Bliss, E.-A. Sperry et A.-J. Farnsworth ; M. G.-D. Shepardson a ensuite fait une communication où il envisage la question d'un point de vue plus général ; une discussion à laquelle ont pris part de nombreux électriciens a suivi ; cette discussion s'est d'ailleurs étendue au delà du siège de l'Institut et elle a trouvé des échos dans les sections locales de Boston, Pittsburg, Schenectady, etc. Le dernier numéro des *Transactions*, qui vient de nous parvenir, ne contient pas moins de 160 pages consacrées à ces communications et discussions ; M. Ch. Jacquin, qui récemment a publié ici des articles très documentés sur l'éclairage électrique des trains se chargera sans doute d'en présenter ici le résumé ; pour le moment nous nous bornerons à donner la traduction de l'exposé de la question par le président.

Sur l'éclairage des trains, par **Scott**. *Transactions of American Institute of Electrical Engineers*, t. XX, p. 305-309.

La lumière électrique est, à tous égards, la lumière idéale pour l'éclairage des trains. Elle est brillante, peut être divisée en un grand nombre de petits foyers, n'échauffe guère et ne vicie nullement l'atmosphère, est d'un contrôle très facile et, en cas d'accident, ne peut causer aussi facilement d'incendie que le pétrole ou le gaz.

Au point de vue technique, le problème de l'éclairage par l'électricité est, au premier abord, extrêmement simple : un petit nombre de lampes, comparable à celui des lampes utilisées dans un magasin ou un appartement, doit être alimenté par un courant électrique. Mais d'autre part la fourniture de ce courant présente de grandes difficultés.

La seule source pratique de l'électricité est une dynamo génératrice dont le courant est utilisé soit directement, soit par l'intermédiaire d'une batterie d'accumulateurs.

L'équipement le plus simple probablement consiste en une batterie placée sur chaque wagon, et chargée ou remplacée après décharge en des points fixes. La batterie est alors assimilable à une batterie d'automobile avec cette différence importante que la batterie d'éclairage n'est pas soumise à un service aussi dur ni aussi irrégulier que la batterie d'automobile. Mais les dispositions nécessaires pour la charge sont toujours gênantes et onéreuses et la batterie doit avoir un poids considérable si elle doit rester en service pendant une longue période.

Lorsque le courant est fourni par un groupe électrogène placé sur le train, ce groupe peut ou être alimenté par la vapeur de la locomotive ou avoir un foyer spécial. Faire dépendre l'alimentation du groupe de la chaudière de la locomotive ne constitue pas une solution aisément applicable à la fourniture continue d'un courant ; d'autre part l'emploi d'un groupe électrogène placé dans l'un des wagons d'un train n'est guère pratique, même si son alimentation est indépendante de la locomotive à cause des changements

qui peuvent survenir en cours de route dans la composition du train. Quant à l'emploi d'un groupe électrogène sur chaque voiture, il entraîne une dépense trop grande et ajoute à la complication de l'équipement général.

L'emploi d'une dynamo génératrice actionnée par le mouvement même du train présente la difficulté d'obtenir un voltage essentiellement constant avec une vitesse variable présentant de larges et irrégulières variations ainsi que des périodes de repos. La difficulté est des plus grandes car la fourniture d'une faible quantité d'énergie à un petit nombre de lampes ne peut être réalisée, avec nos méthodes actuelles de transformation de l'énergie, d'une façon convenable avec les sources d'électricité dont nous disposons.

Le fait que le courant nécessaire à l'éclairage des trains est obtenu tantôt par l'un, tantôt par l'autre des moyens que nous venons d'indiquer, montre avec quelle facilité les inventeurs et les ingénieurs se jouent des difficultés et indique en outre la valeur que l'on attache aujourd'hui à ce mode d'éclairage.

La difficulté fondamentale résulte certainement de ce que les méthodes usuelles de transformation de l'énergie et de l'emmagasinement de l'énergie électrique ne sont pas adéquates au problème qu'il s'agit de résoudre ; elle constitue un appel à la découverte de nouvelles méthodes, simples et de grand rendement, pour la transformation en énergie électrique de l'énergie prise à une source abondante et convenable. L'énergie mise en jeu par le mouvement d'un train peut bien être considérée comme infinie par rapport à la faible quantité d'énergie requise par quelques lampes à incandescence, mais l'appareil nécessaire pour transformer, régulariser et emmagasiner cette énergie est compliqué et coûteux. L'énergie chimique contenue dans quelques livres de charbon serait suffisante pour l'éclairage de tout un train si elle pouvait être transformée efficacement en énergie électrique. Sous cette dernière condition, l'énergie calorifique absorbée par une machine à glace qui congèle quelques litres d'eau permettrait d'éclairer une voiture pendant un long voyage.

Le problème de l'éclairage des trains présente un intérêt général en dehors de l'intérêt spécial qui s'attache à la connaissance des détails des systèmes par lesquels cet éclairage est actuellement réalisé. Il montre l'admirable adaptation de l'électricité à la lampe à incandescence pour l'accroissement de la sécurité et du confort des voyageurs. Il impose dans la distribution du courant des conditions particulières que ne peut pratiquement remplir aucune des sources de courant actuelles. Enfin il montre l'inefficacité et les limites de nos méthodes de transformation de l'énergie et appelle des recherches scientifiques, des découvertes et des inventions dans des champs encore inexplorés.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 16 Mai 1903. 10e Année. — N° 20

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA THÉORIE DES COMMUTATRICES

Le but de la présente étude est une analyse générale des courants dans l'induit d'une génératrice à double courant.

En considérant ensuite la commutatrice comme cas particulier de la machine étudiée, c'est-à-dire comme une machine à double courant, dont la charge alternative et la charge continue sont dans un tel rapport que leur ensemble n'exige point une consommation d'énergie mécanique, nous retrouverons quelques propriétés de la commutatrice, qui sont toutefois bien connues, mais que nous obtenons sous une forme nouvelle et plus générale.

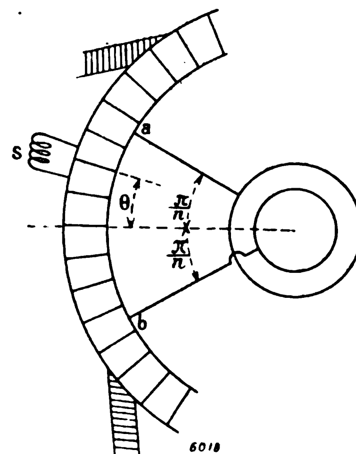


Fig. 1.

Je considère une spire s de l'induit d'une machine à double courant, située entre les lames a et b du collecteur, connectées à des bagues collectrices (fig. 1). Le courant total en s se compose de deux courants alternatifs, de même fréquence, dont l'un, dû à la charge continue a une forme d'onde rectangulaire, tandis que l'autre, dû à la charge alternative, est supposé rigoureusement sinusoïdal.

Entre la composante rectangulaire C (fig. 2) et la composante sinusoïdale A, il y aura une différence de phase Φ, que nous déterminons de la manière suivante :

Le changement de signe de l'onde rectangulaire aura lieu au moment où le milieu de la spire s passe sous l'un des balais du collecteur.

La force électromotrice alternative de la partie ab de l'induit change au contraire de signe au moment où le milieu m de cette partie passe la ligne neutre.

**

Donc, si nous admettons que les balais sont placés dans la ligne neutre, l'onde rectangulaire C, due au courant continu, aura une différence de phase avec la force électromotrice alternative de la partie *ab* de l'induit, dont la valeur est définie par l'écartement angulaire θ de la spire *s* du milieu *m* de *ab*.

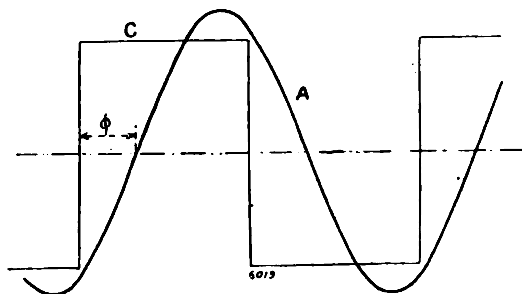


Fig. 2.

Si l'angle θ est mesuré sur l'induit avec une unité *p* fois plus petite que l'unité naturelle, $2p$ étant le nombre de pôles de la machine, et dans le sens de la rotation de l'induit, la valeur de θ nous donne en unités naturelles le *retard* de phase de la force électromotrice alternative de *a b* par rapport à la composante rectangulaire du courant dans la spire *s*.

Or la composante sinusoïdale de ce courant total aura en général une différence de phase par rapport à la force électromotrice alternative, que nous désignerons par φ; c'est le *retard* de phase du courant alternatif, débité par la machine par rapport à sa force électromotrice.

Donc le retard de phase Φ de l'onde A par rapport à l'onde C est égal à la somme des deux angles θ et φ :

$$\Phi = \theta + \varphi.$$

Dans chaque spire de la partie *a b* de l'induit Φ prendra une valeur différente. Pour une machine *n*-phasée θ variera entre $-\frac{\pi}{n}$ et $+\frac{\pi}{n}$; conséquemment Φ entre $\varphi - \frac{\pi}{n}$ et $\varphi + \frac{\pi}{n}$

Nous allons déterminer l'intensité efficace du courant total I_r dans une spire quelconque, déterminée par l'angle θ.

Soit :

La valeur efficace de l'onde rectangulaire : I_c; c'est en même temps la valeur du courant continu, débité par la partie de l'induit entre deux balais.

La valeur efficace de l'onde sinusoïdale, c'est-à-dire celle du courant alternatif, débité par la partie *ab* de l'induit : I_a.

Nous déterminerons un angle Ψ, de sorte que deux vecteurs de grandeur I_c et I_a, dont les directions forment cet angle Ψ, ont pour résultante un vecteur, en grandeur égal à I_r (fig. 3).

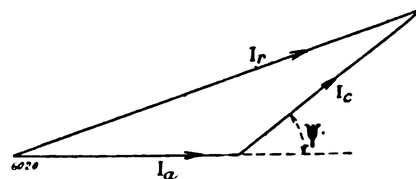


Fig. 3.

Si les deux composantes I_c et I_a étaient des courants sinusoïdaux, l'ange Ψ ne serait autre chose que la différence de phase de ces courants ; donc nous aurions :

$$\Psi = \Phi.$$

Comme cependant l'une des composantes, savoir I_c, a une forme d'onde rectangulaire, l'égalité entre Ψ et Φ n'existe plus. L'angle Ψ *n'est pas* la différence de phase entre les deux courants I_c et I_a, c'est la valeur qu'il faut introduire *au lieu* de la différence de phase Φ, pour pouvoir déterminer la valeur efficace de la résultante, comme si les composantes étaient des courants sinusoïdaux.

Nous appelerons donc Ψ *la différence de phase apparente* des courants I_c et I_a, et nous déterminons cet angle comme suit :

Par définition nous avons :

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \cos \Psi.$$

Si nous indiquons les valeurs *momentanées* de I_r, I_a et I_c par

$$i_r, \quad i_a \quad \text{et} \quad i_c,$$

nous avons à tout instant l'égalité suivante :

$$i_r = i_a + i_c.$$

Conséquemment

$$i_r^2 = i_a^2 + i_c^2 + 2 i_a i_c.$$

En intégrant les deux membres suivant le temps t pour la durée d'une période entière T, et en divisant ensuite par T, nous obtenons :

$$\frac{1}{T}\int_0^T i_r^2 dt = \frac{1}{T}\int_0^T i_a^2 dt + \frac{1}{T}\int_0^T i_c^2 dt + \frac{2}{T}\int_0^T i_a i_c dt.$$

La signification des trois premiers termes de l'équation intégrée est évidente : la valeur efficace I d'un courant périodique, dont on représente la valeur momentanée par i, est définie par la relation :

$$I^2 = \frac{1}{T}\int_0^T i^2 dt.$$

Donc nous pouvons remplacer cette équation par la suivante.

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + \frac{2}{T}\int_0^T i_a i_c dt.$$

Seulement le dernier terme de cette équation contient encore les valeurs momentanées des composantes sous le signe d'intégration ; nous nous débarrassons de cette intégration de la manière suivante :

D'abord nous remarquons que la valeur momentanée i_c de l'onde rectangulaire ne diffère que par le signe de la valeur efficace :

$$i_c = \pm I_c.$$

L'équation précédente devient donc :

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + \frac{2 I_c}{T}\int_0^T \pm i_a dt.$$

Evidemment l'expression :

$$\frac{1}{T}\int_0^T \pm i_a dt$$

dans laquelle le signe sous le symbole $\int$ est à tout instant le même que celui de la valeur momentanée i_c de I_c, n'est autre chose que la valeur moyenne de i_a pendant la demi-période, durant laquelle i_c est positif, c'est-à-dire : la valeur moyenne d'une composante de l'onde sinusoïdale A, ayant la même phase que l'onde rectangulaire C. Or la valeur efficace de cette composante est $I_a \cos \Phi$, donc sa valeur moyenne est $\frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_a \cos \Phi$.

Il suit :

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos\Phi.$$

En comparant cette équation avec celle qui définit l'angle Ψ :

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \cos \Psi.$$

Nous trouvons :

$$\cos \Psi = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \cos \Phi.$$

Les cosinus des angles Ψ et Φ, c'est-à-dire des différences de phase apparente et réelle des courants I_c et I_a dans une spire d'induit de la génératrice à double courant ont donc un rapport constant, qui est égal au rapport de la valeur moyenne à la valeur efficace d'une onde sinusoïdale :

$$\frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0{,}90.$$

Comme $\cos \Phi$ pourra varier entre $+1$ et -1, la variation possible de $\cos \Psi$ est limitée par $+0{,}90$ et $-0{,}90$.

Pour des valeurs positives de $\cos \Phi$, c'est-à-dire si I_c et I_a sont tous deux des courants *débités* par la machine, le courant effectif réel dans une spire aura donc une valeur *plus petite* que la résultante de deux courants alternatifs I_a et I_c avec une différence de phase Φ.

Si au contraire $\cos \Phi$ est négatif, et ce sera en général le cas de la commutatrice, le courant effectif réel sera *plus grand* que la résultante de deux courants sinusoïdaux I_a et I_c.

Le courant total dans une spire d'induit ne sera jamais zéro, si ce n'est le cas pour chacune de ses deux composantes, fait qui résulte de l'inégalité de leurs formes d'onde, et qui se traduit dans notre analyse par l'impossibilité d'une différence de phase apparente, égale à π.

Or la relation trouvée nous permet d'établir les conditions, dans lesquelles pour une valeur donnée d'une des composantes, par exemple de I_c, la résultante obtient sa valeur minima.

L'expression de I_r^2 montre aussitôt que toute diminution de $\cos \Psi$ causera une diminuation de I_r ; donc pour rendre I_r aussi petit que possible, il faut attribuer à $\cos \Psi$ sa valeur minimale, correspondante avec $\cos \Phi = -1$. La première condition pour le minimum de I_r est donc :

$$\cos \Psi = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} = -0{,}90.$$

Nous trouvons une seconde condition en considérant I_r comme fonction d'une seule variable indépendante I_a.

En égalant à zéro la dérivée :

$$\frac{\partial I_r}{\partial I_a} = \frac{I_a + I_c \cos \Psi}{I_r}$$

nous obtenons la valeur de la composante I_a, qui donne pour des valeurs données de I_c et de $\cos \Psi$ le minimum de I_r :

$$I_a = -I_c \cos \Psi,$$

la seconde dérivée de I_r par rapport à I_a :

$$\frac{\partial^2 I_r}{\partial I_a^2} = \frac{I_c^2 \sin^2 \Psi}{I_r^3}$$

étant positive.

Les conditions pour la valeur minimale de I_r avec une valeur donnée de la composante I_c seront donc (fig. 4) :

$$\cos \Psi = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} = -0{,}90$$

$$I_a = -I_c \cos \Psi = 0{,}90\ I_c.$$

Et la valeur minima de I_r sera conséquemment :

$$I_r \min = I_c \sin \Psi = I_c \sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2}} = 0{,}435\ I_c.$$

Donc, dans les conditions les plus favorables, la valeur efficace du courant total dans une des spires d'induit d'une commutatrice n'est jamais moindre que 43,5 p. 100 soit du courant continu, soit du courant alternatif, circulant dans une des parties de l'induit. Or, même dans le cas où les conditions pour la valeur minima du courant total sont satisfaites pour une des spires d'induit entre deux bagues collectrices, elles ne le sont pas pour les autres spires, appartenant à la même partie de l'induit ; donc la valeur moyenne de l'intensité efficace pour l'induit entier sera en général plus grande que le minimum calculé, même dans les conditions les plus favorables. Seulement dans le cas d'une commutatrice ∞-phasée il sera *possible* d'atteindre la valeur minima du courant total pour l'induit entier : c'est précisément le cas qui nous intéresse le moins, parce qu'il représente une impossibilité pratique.

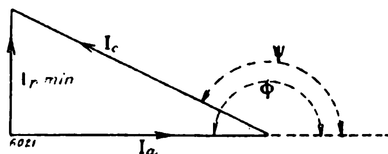


Fig. 4.

La relation générale entre le courant total I_r et ses composantes I_a et I_c dans une spire d'induit d'une dynamo à double courant est donnée par la formule :

$$I_r^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \cos \Psi.$$

Comme I_r est la valeur efficace du courant, circulant dans la spire considérée, la valeur de I_r^2 détermine pour cette spire la chaleur de Joule.

Or I_r aura une autre valeur pour les diverses spires d'une même partie d'induit (fig. 1), parce que l'angle Ψ dépend de Φ, qui lui-même varie avec θ.

Si nous remplaçons dans l'expression de I_r^2 la variable $\cos \Psi$, qui est fonction de θ, par sa valeur moyenne $\cos \Psi_0$ pour une partie d'induit entre deux bagues collectrices, nous déterminons une intensité I_0, de sorte que I_0^2 représente la valeur moyenne de I_r^2 :

$$I_0^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \cos \Psi_0.$$

I_0 est donc la valeur efficace d'un courant fictif, qui nous permet de calculer la chaleur de Joule pour l'induit entier, comme si la machine débitait exclusivement un courant de valeur I_0 dans chaque partie de l'induit.

Pour déterminer :

$$\cos \Psi_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \times \text{valeur moyenne de } \cos \Phi,$$

nous remarquons que pour une partie d'induit ab d'une machine n-phasée, débitant un courant alternatif sous un retard de phase φ, l'angle Φ varie entre les limites $\varphi - \frac{\pi}{n}$ et

$\varphi + \frac{\pi}{n}$, de sorte que la moyenne de cos Φ est :

$$\frac{n}{2\pi} \int_{\varphi - \frac{\pi}{n}}^{\varphi + \frac{\pi}{n}} \cos \Phi d\Phi$$

$$= \frac{n}{2\pi} \left[\sin\left(\varphi + \frac{\pi}{n}\right) - \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{n}\right) \right]$$

$$= \frac{n}{\pi} \sin \frac{\pi}{n} \cos \varphi.$$

Donc

$$\cos \Psi_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin \frac{n}{\pi}}{\frac{n}{\pi}} \cos \varphi.$$

Nous pouvons maintenant déterminer l'intensité I_0 comme résultante de deux vecteurs I_a et I_c en introduisant une différence de phase fictive Ψ_0, qui n'est autre chose que la valeur moyenne des différences de phase apparentes Ψ pour les diverses spires d'induit.

Avec la variation possible de

$$\cos \varphi \text{ entre } -1 \text{ et } +1$$

correspond une variation possible de

$$\cos \Psi_0 \text{ entre } -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}} \quad \text{et} \quad + \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}}$$

Pour diverses valeurs de n les limites correspondantes de cos Ψ_0 sont comme suit :

$n = 2$ (monophasé)	3	4	6	∞
cos Ψ_0 varie entre $\pm$ 0,575	0,746	0,812	0,862	0,900.

La valeur minima de I_0 pour une valeur donnée de I_c se produira dans les conditions suivantes :

$$\cos \varphi = -1, \quad \text{donc} \quad \cos \Psi_0 = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}}$$

$$I_a = -I_c \cos \Psi_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}} I_c.$$

Elle sera égale à :

$$I_0 \min = I_c \sin \Psi_0 = I_c \sqrt{1 - \frac{8}{\pi^2} \left(\frac{\sin \frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}} \right)^2}$$

ce qui nous donne, pour :

$n = 2$	$I_0 \min = 0{,}818\, I_c$
$n = 3$	$I_0 \min = 0{,}666\, I_c$
$n = 4$	$I_0 \min = 0{,}584\, I_c$
$n = 6$	$I_0 \min = 0{,}507\, I_c$
$n = \infty$	$I_0 \min = 0{,}435\, I_c$.

Comme nous verrons plus loin, pour une commutatrice idéale, c'est-à-dire sans perte d'énergie, la relation entre I_a et I_c est :

$$I_a = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi}\,\frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}}\,\frac{1}{\cos\varphi}\,I_c,$$

donc pour $\cos\varphi = -1$

$$I_a = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\,\frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}}\,I_c.$$

Comme le minimum de I_0 se produirait pour

$$I_a = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\,\frac{\sin\frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}}\,I_c,$$

nous voyons que, dans les conditions les plus favorables, la vraie valeur de I_a est $\left(\frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}}\right)^2$ fois plus grande que celle qui correspond au minimum de I_0.

Comme l'expression $\frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}}$ est plus grande que l'unité, et qu'elle se rapproche de l'unité pour des valeurs croissantes de n, la condition pour la valeur minima de I_0, c'est-à-dire pour le minimum des pertes de Joule, ne peut être remplie que pour une commutatrice ∞-phasée.

Nous allons maintenant introduire dans le calcul les quantités d'énergie électrique débitées par la machine.

Soit :

La charge continue d'une génératrice à double courant C ;

La charge alternative A ;

La charge continue, donnant les mêmes pertes de Joule que l'ensemble des charges C et A, C_0 ;

La force électromotrice continue E_c ;

La force électromotrice n-phasée E_a.

donc :

$$2p \quad E_c I_c = C$$
$$np \quad E_a I_a \cos\varphi = A$$
$$2p \quad E_c I_0 = C_0.$$

Entre E_c et E_a existe la relation suivante :

$$E_a = \frac{1}{2}\sqrt{2}\sin\frac{\pi}{n}\,E_c.$$

Nous pouvons donc écrire :

$$I_c = \frac{C}{2pE_c} \qquad I_a = \frac{A\sqrt{2}}{np\sin\frac{\pi}{n}\,E_c\cos\varphi} \qquad I_0 = \frac{C_0}{2pE_c}$$

Pour la commutatrice idéale nous pouvons poser :

$$C + A = 0,$$

d'où résulte la relation suivante entre I_a et I_c :

$$I_a = -\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}} \frac{1}{\cos\varphi} I_c$$

que nous avons déjà indiquée plus haut.

Des expressions précédentes de I_c, I_a et I_0 en C, A et C_0, il suit :

$$\frac{I_c}{I_0} = \frac{C}{C_0}$$

et

$$\frac{I_a}{I_0} = \frac{A}{C_0} \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\frac{\pi}{n}}{\sin\frac{\pi}{n}} \frac{1}{\cos\varphi}.$$

En introduisant ces relations dans l'expression générale de I_0^2 pour l'induit d'une génératrice à double courant :

$$I_0^2 = I_a^2 + I_c^2 + 2 I_a I_c \cos\Psi_0,$$

d'où il résulte :

$$1 = \frac{I_a^2}{I_0^2} + \frac{I_c^2}{I_0^2} + 2\frac{I_a}{I_0}\frac{I_c}{I_0}\cos\Psi_0$$

et, en remplaçant $\cos\Psi_0$ par sa valeur :

$$\cos\Psi_0 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \frac{\sin\frac{\pi}{n}}{\frac{\pi}{n}} \cos\varphi,$$

nous obtenons :

$$1 = \frac{A^2}{C_0^2} \frac{8}{n^2 \sin^2\frac{\pi}{n} \cos^2\varphi} + \frac{C^2}{C_0^2} + \frac{16}{\pi^2} \frac{AC}{C_0^2}.$$

C'est l'équation générale de la génératrice à double courant.

En introduisant la relation

$$A + C = 0$$

qui doit être satisfaite dans le cas d'une commutatrice idéale, l'équation générale nous donne :

$$\left(\frac{C}{C_0}\right)^2 = \frac{1}{1 + \frac{8}{n^2 \sin^2\frac{\pi}{n} \cos^2\varphi} - \frac{16}{\pi^2}}$$

Si nous introduisons avec M. Steinmetz un facteur Γ, satisfaisant à la relation :

$$\left(\frac{C}{C_0}\right)^2 = \frac{1}{\Gamma}$$

de sorte que $C_0\sqrt{\frac{1}{\Gamma}}$ représente la puissance de la commutatrice, si C_0 est la puissance de la même machine comme génératrice à courant continu :

$$\Gamma = 1 + \frac{8}{n^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \varphi} - \frac{16}{\pi^2}$$

C'est l'expression générale de Γ, dont la formule de M. Steinmetz :

$$\Gamma = 1 + \frac{8}{n^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}} - \frac{16}{\pi^2}$$

résulte *dans le cas particulier*, où $\cos \varphi = 1$.

La puissance de la commutatrice sera égale à celle de la même machine comme génératrice à courant continu pour $\Gamma = 1$, donc pour :

$$n^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \varphi = \frac{\pi^2}{2};$$

d'où l'on tire :

$$\cos \varphi = \pm \frac{1}{2} \sqrt{2} \frac{\frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}}.$$

Pour une commutatrice monophasée ($n = 2$), cette valeur de $\cos \varphi$ serait égale à $\frac{1}{2}\sqrt{2}.\frac{\pi}{2}$, c'est-à-dire plus grande que l'unité ; cela signifie donc que la puissance d'une commutatrice monophasée est toujours plus petite que la puissance continue de la même machine.

Pour d'autres valeurs de n, le facteur de puissance $\cos \varphi$, qui correspond à une puissance de la commutatrice, égale à la puissance continue, est comme suit :

$n =$	3	4	6	∞
$\cos \varphi =$	0,855	0,785	0,740	0,707.

Pour des valeurs plus grandes de $\cos \varphi$, la puissance de la commutatrice est supérieure à la puissance continue ; pour des valeurs plus petites de $\cos \varphi$ elle est inférieure à cette puissance.

Si nous voulons nous rendre compte des pertes d'énergie dans la commutatrice, il nous faut remarquer que ces pertes à pleine charge dépendent de la puissance C_0 de la machine comme génératrice à courant continu.

Donc en égalant ces pertes à $p\,C_0$, les charges A et C de la commutatrice doivent satisfaire à la relation :

$$A + C + pC_0 = 0.$$

En introduisant cette relation dans l'équation générale de la génératrice à double courant, nous obtenons une équation, qui nous permet de calculer $\frac{C}{C_0}$, c'est-à-dire le rapport des puissances de la machine comme commutatrice et comme génératrice à courant continu.

Nous obtenons alors pour $\frac{C}{C_0}$ une expression un peu compliquée, de sorte qu'il vaut mieux appliquer un procédé graphique, que nous allons démontrer :

***

L'équation générale de la génératrice à double courant :

$$C^2 + \frac{16}{\pi^2} AC + \frac{8}{n^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \varphi} A^2 = C_0^2$$

est celle d'une courbe du second degré, dont le genre dépend de la valeur du seul paramètre variable, que l'équation contient :

$$P = \frac{8}{n^2 \sin^2 \frac{\pi}{n} \cos^2 \varphi}.$$

En écrivant :

$$P = \frac{8}{\pi^2} \left(\frac{\frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}} \right)^2 \frac{1}{\cos^2 \varphi}$$

on voit aisément que la plus petite valeur possible de P se produit pour $n = \infty$, $\cos \varphi = 1$, et est égale à $\frac{8}{\pi^2}$.

Le paramètre P peut par conséquent varier entre $\frac{8}{\pi^2}$ et ∞.

En écrivant l'équation

$$C^2 + \frac{16}{\pi^2} AC + PA^2 = C_0^2$$

de la manière suivante

$$\left(C + \frac{8}{\pi^2} A\right)^2 + \left(P - \frac{64}{\pi^4}\right) A^2 = C_0^2,$$

on voit que le genre de la courbe représentée dépend du signe du coefficient du second terme $P - \frac{64}{\pi^4}$.

Si ce coefficient est positif, donc pour

$$P > \frac{64}{\pi^4},$$

l'équation est celle d'une ellipse.

Si au contraire il est négatif, donc pour

$$P < \frac{64}{\pi^4},$$

l'équation est celle d'une hyperbole.

Comme en effet la valeur de P est toujours plus grande que $\frac{8}{\pi^2} > \frac{64}{\pi^4}$, l'équation générale de la génératrice à double courant représente une série d'ellipses.

Pour

$$P = \frac{64}{\pi^4}$$

l'équation représente l'ensemble de deux droites :

$$C + \frac{8}{\pi^2} A = \pm C_0$$

qui sont évidemment des tangentes à toutes les courbes du second degré, représentées par

l'équation générale, à leurs points d'intersection avec l'axe des C (fig. 5) :

$$C \begin{cases} A = o \\ C = C_0 \end{cases} \quad \text{et} \quad C' \begin{cases} A = o \\ C = -C_0 \end{cases}$$

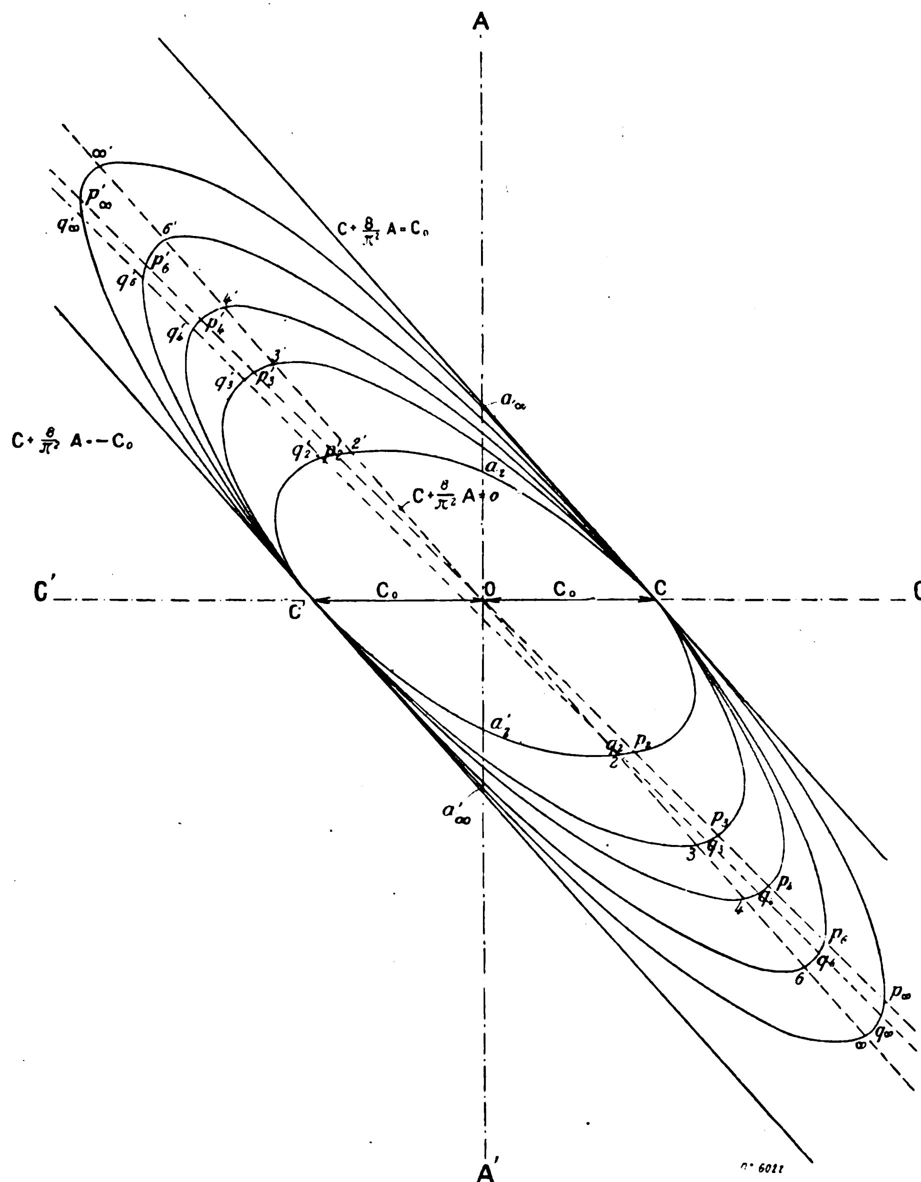


Fig. 5.

Toutes ces courbes ont donc un diamètre commun $= 2\,C_0$ suivant l'axe des C et encore même direction du diamètre conjugué :

$$C + \frac{8}{\pi^2} A = o.$$

Pour les différentes valeurs de n, les valeurs correspondantes du paramètre P sont les

suivantes :

$n =$	2	3	4	6	∞
$P =$	$\frac{2}{\cos^2\varphi}$	$\frac{32}{27\cos^2\varphi}$	$\frac{1}{\cos^2\varphi}$	$\frac{8}{9\cos^2\varphi}$	$\frac{8}{\pi^2\cos^2\varphi}$

Une même ellipse peut donc se rapporter à plusieurs valeurs de n, mais pour chaque valeur de n elle correspondra à une autre valeur de $\cos\varphi$.

Dans la figure 5 sont tracées les ellipses pour différentes valeurs de n et pour $\cos\varphi = 1$; les points d'intersection avec le diamètre conjugué à l'axe des C sont indiqués pour une machine n-phasée par n et n'.

Comme pour $\cos\varphi = 0$ les ellipses se réduisent pour toute valeur de n au diamètre CC', la série d'ellipses, se rapportant à une machine n-phasée pour différentes valeurs de $\cos^2\varphi$ entre 0 et 1, est limitée d'une part par celle pour $\cos^2\varphi = 1$: $cn\,c'n'$, d'autre part par la droite CC'.

La partie d'une ellipse aC, située dans le quadrant AOC, nous donne la relation entre les deux charges positives A et C, dont l'ensemble donne les mêmes pertes de Joule qu'une charge continue C_0. Cette partie se rapporte donc à une génératrice à double courant.

Si nous menons par l'origine O une droite, dont l'équation est :

$$A + C = 0,$$

c'est-à-dire, qui divise l'angle COA' en deux parties égales, cette droite coupe chaque ellipse en deux points, savoir p dans le quadrant COA' et p' dans le quadrant C'OA.

Les points p déterminent les valeurs de A et C pour une commutatrice proprement dite, les points p' pour une commutatrice inversée, en admettant la même élévation de température qu'avec une charge continue C_0 de la même machine, fonctionnant comme génératrice, et en ne tenant pas compte des pertes d'énergie.

En mettant $C_0 = 1$, les points p nous donnent

$n =$	2	3	4	6	∞
$C = -A =$	0,85	1,34	1,65	1,97	2,31

les points p' donnent naturellement dans ce cas, au signe près, les mêmes valeurs de A et C.

Si nous voulons nous rendre compte des pertes d'énergie dans la machine, nous devons remplacer la droite :

$$A + C = 0$$

par une autre :

$$A + C + pC_0 = 0$$

Au lieu des points d'intersection p et p', nous obtenons maintenant q et q'.

Les points q nous donnent les valeurs suivantes de A et C pour une commutatrice proprement dite, en prenant $p = 0,1$.

$n =$	2	3	4	6	∞
$A = -$	0,85	1,36	1,67	2,02	2,41
$C =$	0,75	1,26	1,57	1,92	2,31

les points q nous donnent dans les mêmes conditions pour une commutatrice inversée.

$n =$	2	3	4	6	∞
$C = -$	0,94	1,39	1,67	1,96	2,30
$A =$	0,84	1,29	1,57	1,86	2,20

On voit que pour $n = 4$ la puissance de la commutatrice est la même dans les deux cas ; ceci résulte du fait que pour $n = 4$, $\cos \varphi = 1$, le paramètre P devient égal à l'unité et que conséquemment dans ces conditions l'équation de l'ellipse prend la forme :

$$C^2 + \frac{16}{\pi^2} AC + A^2 = C_0^2$$

symétrique par rapport à A et C.

P.-M. VERHOECKX.

SUR LA PRÉDÉTERMINATION
DES RENDEMENTS DES MOTEURS DE TRACTION

La question de la prédétermination des rendements des moteurs a une grande importance dans les projets de traction. Aussi croyons-nous qu'il n'est pas sans intérêt pour les lecteurs de *L'Éclairage Électrique* de trouver ici l'exposé rapide d'une méthode pratique qui nous a été fort utile, et qui permet de construire les caractéristiques d'un moteur de traction aux divers régimes, connaissant ses caractéristiques pour un régime déterminé.

Pour fixer les idées, nous prendrons le cas d'un moteur série pour lequel on a adopté un mode de régulation par résistances intercalées dans le circuit de l'induit.

Les caractéristiques fournies sont les suivantes : courbes de vitesse, de rendement et d'effort de traction en fonction de I, courant d'armature, dans le cas où l'on n'intercale aucune résistance sur l'induit.

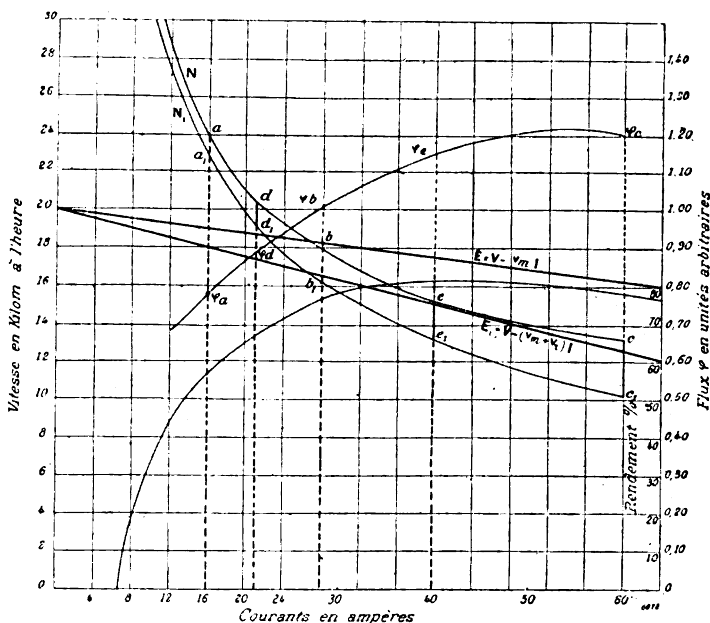


Fig. 1. — Prédétermination des rendements des moteurs de traction.

La courbe représentative de l'effort de traction reste évidemment la même dans le cas où l'on ajoute des résistances sur l'induit. Soit donc un moteur série, fonctionnant sous une différence de potentiel V constante aux bornes, ayant une résistance d'induit égale à r_a et une résistance d'inducteur égale à r_s. Posons $r_m = r_a + r_s$.

Soient r_1 r_2... r_n les résistances additionnelles, et cherchons à déterminer les caractéristiques de vitesse N (I) et celles de rendement η (I) correspondantes.

Caractéristiques de vitesse. — Traçons les droites (fig. 1)

$$\left\{ \begin{array}{l} E = V - r_m I \\ E_1 = V - (r_m + r_1) I \\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot \\ E_n = V - (r_m + r_n) I \end{array} \right. \qquad (1)$$

correspondant aux diverses résistances additionnelles r_1, r_2,... r_n, E, E_1... E_n représentant les forces contre-électromotrices de l'induit dans les différents cas.

On a du reste

$$\left\{\begin{array}{l} E = Na\Phi \\ E_1 = N_1 a\Phi \\ E_2 = N_2 a\Phi \\ \cdots\cdots \\ E_n = Na\Phi \end{array}\right. \quad (2)$$

en désignant par a une constante, par Φ le flux inducteur, et par N_1 N_2... N_n les valeurs des vitesses correspondant aux diverses caractéristiques.

Nous aurons en associant les équations de même indice des groupes (1) et (2)

$$a\Phi = \frac{V - r_m I}{N} = \frac{V - (r_m + r_1) I}{N_1} \ldots\ldots = \frac{V - (r_m + r_n) I}{N_n}.$$

Nous connaissons la courbe N (I) et la droite $E = V - r_m I$. Nous pouvons donc construire la courbe d'ordonnée $\varphi = a\Phi$, ou si l'on veut, à l'échelle près, la courbe de magnétisme de la machine Φ (I).

D'autre part, nous avons tracé les droites

$$\left\{\begin{array}{l} E_1 = V - (r_m + r_1) I \\ \cdots\cdots\cdots\cdots \\ E_n = V - (r_m + r_n) I \end{array}\right. \quad (2)$$

Nous pourrons tracer les caractéristiques N_1 (I)... N_n(I) par points en prenant les rapports des ordonnées $\frac{E_1}{\Phi}$, ... $\frac{E_n}{\Phi}$, correspondant à une même valeur de I.

Caractéristiques de rendement. — Remarquons que, pour toute machine électrique, on peut distinguer :

1° Les pertes par frottements mécaniques de la forme A'N ;

2° Les pertes par courants de Foucault de la forme $BN^2\Phi^2$;

3° Les pertes par hystérésis, de la forme $A\Phi^{1,6}N$;

4° Les pertes par effet Joule qui sont de la forme $(r_m + r)I^2$, r étant la résistance intercalée sur l'induit.

A, A' et B sont des constantes.

Sur la caractéristique donnée N (I), prenons trois points a, b, c. Il leur correspond des intensités I_a, I_b, I_c et des valeurs φ_a, φ_b, φ_c de l'ordonnée de la courbe φ(I) représentant à l'échelle près la courbe d'aimantation de la machine.

Nous pouvons écrire en particulier, comme expression des pertes dans le moteur correspondant au point a

$$VI (1 - \eta_a) = r_m I_a^2 + AN_a\Phi_a^{1,6} + A'N_a + BN_a^2\Phi_a^2.$$

η_a est le rendement correspondant au point a déduit de la caractéristique donnée η (I).

Posons

$$\left\{\begin{array}{l} A\Phi_a^{1,6} = A''\varphi_a^{1,6} \\ B\Phi_a^2 = B'\varphi_a^2. \end{array}\right.$$

Nous aurons

$$VI_a (1 - \eta_a) = r_m I_a^2 + A''N_a\varphi_a^{1,6} + A'N_a + B'N_a^2\varphi_a^2.$$

Posons encore

$$\left\{\begin{array}{l} A''\varphi_a^{1,6} = P \\ A' = Q \\ B'\varphi_a^2 = R \\ VI_a (1 - \eta_a) - r_m I_a^2 = \Psi (I_a). \end{array}\right.$$

Mesurons enfin les rapports des ordonnées $\frac{\varphi_b}{\varphi_a} = b$, $\frac{\varphi_c}{\varphi_a} = c$. Nous aurons comme expression définitive des pertes autres que celles par effet Joule, pour les trois points a, b, c :

$$\left\{\begin{aligned} \Psi(I_a) &= PN_a + QN_a + RN_a^2 \\ \Psi(I_b) &= PN_b b^{1,6} + QN_b + RN_b^2 b^2 \\ \Psi(I_c) &= PN_c c^{1,6} + QN_c + RN_c^2 c^2. \end{aligned}\right. \tag{3}$$

On peut déterminer les 3 inconnues P, Q, R par ces 3 équations.
En particulier, le dénominateur des inconnues est

$$N_a N_b N_c \begin{vmatrix} 1 & 1 & N_a \\ b^{1.6} & 1 & N_b b^2 \\ c^{1,6} & 1 & N_c c^2 \end{vmatrix}$$

Pour tracer les courbes de rendement $\eta_1, \eta_2, \ldots \eta_n$, nous considérerons la fonction Ψ comme une inconnue auxiliaire. Quand nous connaîtrons pour une intensité I_j donnée, la valeur Ψ_j de cette fonction, correspondant à la caractéristique η_j à tracer pour une résistance additionnelle $r = r_j$, nous connaîtrons par cela même la valeur de η au moyen de l'équation

$$\Psi_j = VI_j (1 - \eta_j) - (r_m + r_j) I_j^2.$$

Considérons donc les points a, b, c, d, e de la caractéristique de vitesse donnée N(I), points correspondant aux intensités I_a, I_b, I_c, I_d, I_e, etc. Pour les points correspondant à une résistance additionnelle r_l, points se trouvant sur les parallèles à l'axe des ordonnées menées par les points I_a, I_b,.... I_e, les valeurs des ordonnées φ seront les mêmes que pour les points correspondant à N (I). Nous aurons donc

$$\left\{\begin{aligned} \Psi(I_a) &= PN_{la} + QN_{la} + RN_{la}^2 \\ \Psi(I_b) &= PN_{lb} b^{1,6} + QN^{lb} + RN_{lb}^2 b^2 \\ \Psi(I_c) &= PN_{lc} c^{1,6} + QN_{lc} + RN_{lc}^2 c^2 \end{aligned}\right. \tag{4}$$

On déduira donc de ce système les valeurs de $\Psi_l(a)$, $\Psi_l(b)$,... $\Psi_l(e)$, correspondant aux divers points de la caractéristique η_l, d'où l'on tire aisément les valeurs de $\eta_l(a)$,... $\eta_l(b)$,... $\eta_l(e)$, etc.

On pourrait remarquer que si l'on s'astreint à construire les courbes $\eta_1(I)$, $\eta_2(I)$,... $\eta_n(I)$, en n'employant, sur les diverses courbes de vitesse, que les points correspondant à de mêmes intensités, soit I_a, I_b, I_c, I_d, I_e, les constantes A et B peuvent être combinées avec les valeurs des flux de telle sorte que l'on puisse écrire :

$$VI_a (1 - \eta_a) = r_m I_a^2 + \alpha N_a + \beta N_a^2,$$

α et β étant des fonctions de l'intensité I_a choisie.

Nous préférons cependant la forme donnée plus haut comme plus générale.

BARBILLION.

DE LA LÉGISLATION DES CHUTES D'EAU

Nous avons examiné dans une précédente étude ([1]) à l'aide de quels arguments on prétendait légitimer le *principe de la concession* par l'Etat de l'énergie des cours d'eau non navigables. Notre conclusion personnelle a été, qu'aussi bien sur le terrain abstrait du droit que dans le domaine plus accessible des faits et des réalités contingentes, la base de ce néo-droit régalien, dont on veut attribuer l'exercice à l'Etat, est des plus fragiles et des plus discutables.

Quoi qu'il en soit, il convient de se faire une idée de ce que pourra donner dans l'application le développement de ce système ; nous pourrons ainsi apprécier si les mérites et les avantages de l'organisme proposé sont assez grands pour justifier un théorie qui à tant d'égards peut sembler une innovation dangereuse, non seulement pour l'industrie, mais aussi pour le pays tout entier, par son caractère et sa tendance collectivistes.

En évoluant autour de cette idée directrice, de cette notion originelle et fondamentale de *la concession*, il s'est établi un double courant d'opinion qu'on peut définir en deux mots. D'un côté, il y a les partisans déclarés du « tout à l'Etat » : ceux que nous appellerons les radicaux (ne le sont-ils pas, du reste, aussi en politique ?) ; de l'autre, il y a ceux qui, ne fermant pas l'oreille aux réclamations des intéressés, veulent un régime plus libéral, plus respectueux des droits des tiers et plus soucieux des véritables intérêts de l'industrie ; les uns semblent, dans la classification de leurs désidératas, vouloir mettre au premier rang l'institution d'un régime qui aurait pour principal objectif d'élargir encore le pouvoir de l'Etat, les intérêts privés étant en fait, bien qu'on ne l'avoue pas, carrément rejetés au second plan ; les autres, renversant la proposition, pensent qu'on doit, dans l'économie du nouveau système, réserver aux intérêts industriels la première place, la préoccupation des intérêts publics ne devant, en tout état de cause, être envisagée que comme une idée secondaire et en quelque sorte, comme une annexe de la question.

C'est sur cette dualité que se sont concentrées toutes les controverses et c'est à ce double courant qu'il faut ramener les idées de ceux qui préconisent le système de la concession. Les partisans de la concession *temporaire*, avec intervention étroite de l'Administration, ont donné leur adhésion au projet déposé par le Gouvernement le 6 juillet 1900. Ceux qui pensent que, dans tous les cas, la nécessité d'une concession s'impose, mais que cette concession doit être *sinon perpétuelle*, du moins *de très longue durée* et entourée de toutes les garanties pour la sauvegarde des intérêts des tiers et de ceux de l'industrie, se rallient au second système : c'est celui de la commission parlementaire (le projet Guillain) dont son auteur a, du reste, sérieusement amendé le texte et modifié l'esprit en préconisant la nécessité de l'adoption d'idées et de mesures beaucoup plus libérales.

Enfin, d'autres combinaisons ont été mises en avant et les membres du Congrès de la Houille blanche, réunis à Grenoble en septembre dernier, en ont entendu le développement ; nous les ferons connaître également en indiquant l'intérêt que présentent ces divers systèmes, la possibilité d'en tirer parti et de les adapter à une nouvelle législation des chutes d'eau.

I. — Projet du gouvernement

Nous avons vu que sous l'empire de la législation actuelle il n'était possible de tirer parti d'un cours d'eau *non navigable* que lorsqu'il s'agissait de donner satisfaction à un

([1]) Voir numéros des 2 et 9 mai, p. 160 et 209.

service *public* qui, seul, peut faire l'objet de la *déclaration d'utilité publique* : on se trouve alors en présence de *travaux publics* nécessités par l'*intérêt public ;* dans ce cas la loi de 1841 fonctionne et tout est dit. Mais il en va autrement lorsqu'il s'agit soit d'un intérêt *privé*, par exemple de celui d'un ou plusieurs grands établissements industriels, soit de l'*intérêt simultané des services publics et de l'industrie ;* dans l'une ou l'autre hypothèse, l'élément indispensable à la déclaration d'utilité publique, c'est-à-dire l'intérêt public, faisant défaut, la loi de 1841 ne saurait être mise en jeu.

C'est pour remédier à cette lacune de la législation que le Gouvernement a proposé d'appliquer à l'industrie, par conséquent aux intérêts privés, considérés comme « étant liés à des usages publics immédiats ou éventuels » un régime nouveau et d'exception qui permettrait de tirer de la force des chutes d'eau la meilleure utilisation industrielle possible : ce régime serait celui de la *concession de travaux publics.*

Sans revenir ici sur les considérations qui peuvent justifier la création d'un pareil organisme, qu'il nous suffise de faire remarquer que le principe de l'adoption de la concession du type de celle des travaux publics entraînerait, par une logique nécessaire, l'application d'un système singulièrement étroit, arbitraire et dangereux dont nous allons examiner de plus près la portée.

1° *Régime des concessions.*— Le projet de loi du Gouvernement, dans l'exposé de motifs de son titre I (art. 1 à 9), définit ainsi le régime des concessions :

« Les usines sont divisées en deux catégories : les usines *privées* qui continuent d'être régies par le droit commun, c'est-à-dire qui fonctionnent avec l'aide d'une simple *autorisation* administrative ; les usines *publiques* (d'une puissance supérieure à 100 chevaux-vapeur en eaux moyennes), qui tombent sous le coup de la nouvelle proposition de loi et qui ne peuvent être établies que par *voie de concession*, en vertu d'un décret rendu sur avis conforme du Conseil d'Etat. Le projet n'aura pas d'effet rétroactif, sauf en ce qui concerne les usines privées qui viendraient à augmenter leur puissance antérieure, soit qu'elle dépassât déjà 100 chevaux, soit qu'il s'agisse de la porter pour la première fois au delà de ce chiffre.

» La nouvelle législation des usines publiques s'appliquera aussi bien aux cours d'eau navigables qu'aux cours d'eau non navigables. La conséquence de ce principe est la suppression de la précarité des usines publiques sur les cours d'eau navigables. »

Cette définition établit nettement la situation; désormais aucune force un peu importante (100 chevaux) ne pourra être exploitée par un particulier sans l'intervention de l'Etat. La rigueur du principe apparaît dans toute sa simplicité sans qu'il soit besoin d'y apporter un commentaire.

Cette classification n'a pas été adoptée par la Commission parlementaire qui a estimé qu'une transition devait être ménagée avec les usines *privées*, continuant à vivre sous l'ancien régime de l'autorisation et de la précarité, et les usines *publiques*, destinées presque exclusivement aux besoins d'un ou de plusieurs services publics et faisant l'objet d'une déclaration d'utilité publique ; la Commission en ajoutant le type des Usines *concédées* à la division adoptée par le Gouvernement, a en quelque sorte jeté un pont entre les deux points extrêmes du système, c'est-à-dire entre les Usines *privées* et les Usines *publiques.*

Nous retrouvons à la base des deux projets la même préoccupation : faciliter le développement des usines de grande puissance et constituer des réserves d'énergie pour les services publics nés ou à naître. C'est autour de cette idée directrice, de ce noyau, que s'est amorcé et développé, sous deux étiquettes différentes, un double programme dont la portée et les conséquences sont en définitive, ainsi que nous le verrons, assez semblables.

Le caractère fondamental de la concession sans épithète repose sur une ingérence de

****

l'Etat sous forme d'une intervention de l'Administration qui se manifestant à la naissance de l'Usine hydraulique ne la quittera plus pendant tout le cours de sa vie industrielle. Il est permis dans de telles conditions d'envisager avec une certaine inquiétude la situation qui sera faite à l'usinier par ce contrôle en quelque sorte statuaire qui s'exercera d'une main plus ou moins légère, suivant les hommes et les milieux. Sans faire le procès aux représentants d'une Administration qui compte tant d'hommes éminents et intègres, on est en droit de craindre, qu'avec l'évolution qui s'affirme dans le sens de plus en plus marqué d'une intervention de l'Etat dans les affaires de l'industrie, on est en droit de craindre, disons-nous, que l'esprit des fonctionnaires administratifs ne soit dévié, par une loi bien humaine, vers le point d'attraction gouvernemental et n'adopte, peut-être inconsciemment, dans ses rapports avec les industriels, des idées qui prendront leur inspiration plutôt aux sources pernicieuses d'une politique instable et dangereuse qu'au puits d'où sort la vérité et la justice.

Que comprendra la concession ? La concession portera sur la force hydraulique et sur les ouvrages, terrains et bâtiments qui servent à son aménagement.

Cette définition exclut « ipso facto » les usines d'emploi qui restent indépendantes. Cette indépendance s'impose, c'est bien évident, mais qui ne voit les inconvénients de cette vie commune des usines hydrauliques et des usines d'emploi, les premières asservies à une concession, contrôlées par des tiers, limitées dans leur essor par des clauses de mort et par des stipulations déprimantes visant des réserves d'énergie, les secondes impliquant, au contraire, l'initiative, la liberté des mouvements et la possibilité de faire des projets de longue haleine et de grande envergure.

Nous savons que l'industrie du droit commun n'échappe que difficilement à l'intervention des pouvoirs publics ; hier, le Parlement amorçait le projet de loi sur les retraites ouvrières en inscrivant dans la loi de finances un crédit de un million pour améliorer les retraites des ouvriers mineurs ; dernièrement, c'était la question de la réglementation de la durée du travail et de celle du salaire, l'arbitrage forcé et l'organisation de ce que nous appellerons la procédure de la grève, la création des Conseils du Travail, la modification de la législation des Prud'hommes..., etc. ; en un mot tout ce système qui constitue le mouvement social, ou plutôt la réalisation d'une partie du programme collectiviste inauguré par M. Millerand, comme ministre du Commerce, et poursuivi par lui comme Président de la Commission parlementaire d'assistance et de prévoyances sociales. Est-il bien téméraire de penser que ces questions se poseront d'une façon encore plus grave et plus incisive pour l'industrie concédée, qui deviendra le véritable champ d'épandage de toutes les théories socialistes. On a dit : « Ne nous laissons impressionner ni par l'épouvantail qu'on nous fait des futures tracasseries administratives, ni par les menaces de déchéance ou de rachat qui devront mettre en fuite les exploitants » [1].

Nous ne partageons pas cet optimisme et il suffit de se rendre compte de ce qui se passe en matière de concession de gaz, d'électricité ou de tramway, par exemple, pour juger quel est l'état d'âme d'une municipalité vis-à-vis de son concessionnaire ; le pouvoir concédant, en effet, part de cette idée simpliste que le concessionnaire a reçu de lui un cadeau et que, par suite, toutes les chicanes, tous les marchandages qui auront pour effet de lui retirer une partie des avantages concédés sont des pratiques que l'intérêt général absout et justifie. La notion de responsabilité et de justice, quand elle s'adresse à la collectivité, à une assemblée qui, par essence, est composée d'éléments changeants, est une formule

---

[1] M. Barthélemy. *Bulletin de la Société d'Études Législatives.*

philosophique, une abstraction dont le sens est facilement déformé pour les besoins de la cause.

Nous le disons nettement : l'intervention des agents de l'Etat comme conséquence de la mise en pratique du principe de la concession, est une menace des plus graves pour l'industrie, tant à raison de l'arbitraire administratif inévitable pendant toute la vie de l'usine, qu'en ce qui touche les appréhensions légitimes que provoque au point de vue général la mainmise de l'Etat et de quel Etat (nul ne le sait) sur une exploitation industrielle pour lui infliger la tare de la domanialité !

Cette considération à elle seule devrait fournir matière aux réflexions les plus sérieuses, car si un monopole comme celui d'une industrie de transport ou de distribution d'eau ou de lumière peut à la rigueur s'accommoder d'une concession et avoir une vie relativement facile, malgré le fardeau des taxes et le contrôle de l'Administration, c'est précisément parce que le concessionnaire jouit d'un monopole ; mais pour l'industriel qui exploitera une usine hydraulique publique, la situation sera bien différente : le monopoleur, lui, a une clientèle fixe et fidèle, tandis que le fabricant doit calculer ses prix de vente en tenant compte de la situation de place et même du marché international.

Si donc la notion de concession s'harmonise difficilement avec l'idée d'une exploitation privée, que doit-on penser d'une concession qui, comme celle imaginée par les auteurs du projet, contient des réserves et des stipulations au profit de l'Etat ou des tiers de telle nature que la marche même et l'allure intérieure de l'Usine doive en être forcément affectée de la façon la plus sérieuse et la plus inquiétante ! Le projet de loi grève en effet l'industrie hydraulique de charges fixes et, en outre, l'astreint à des obligations financières d'un caractère si indéterminé, qu'il y a là pour le concessionnaire une éventualité d'autant plus troublante qu'elle n'est esquissée d'une façon imprécise.

Nous avons vu que cette considération de la sauvegarde des intérêts généraux était en quelque sorte le criterium, la pierre angulaire du projet. C'est ce point de vue sur lequel les auteurs du projet se sont hypnotisés, de bonne foi sans doute, qui leur a fait inscrire dans leur programme *la stipulation de réserves d'énergie au profit des services publics* et la prévision de *concours financiers* à fournir éventuellement par le concessionnaire.

De ces deux clauses, la première est discutable, la seconde doit être franchement repoussée comme léonine.

Si, en effet, c'est un devoir d'envisager dans une certaine mesure l'intérêt de tous en empêchant une obstruction de la part de l'industriel, qui sera plus théorique que pratique, il faut, tout en respectant le principe, avoir la main légère et discrète dans l'application. Nous croyons quant à nous que cette réserve d'énergie est une clause surabondante pour deux motifs : le premier, c'est que les concessionnaires auront la plupart du temps intérêt à vendre de l'énergie à des tarifs modérés aux services publics qui seront, en quelque sorte, le régulateur, le volant de leur exploitation industrielle ; le second, c'est qu'en cas de mauvaise volonté déclarée ou de nécessité impérieuse, l'Etat aura toujours la ressource de mettre en jeu la loi de 1841 et de poursuivre l'expropriation totale ou partielle pour cause d'utilité publique.

Quant à la clause de *concours financiers*, elle est à tous égards condamnable par son caractère nettement fiscal. Elle offre, en outre, cette particularité, c'est d'être une charge indéterminée, l'art. 4 § 5 du projet se bornant à prévoir « les charges imposées au concessionnaire sous forme de concours financiers à des entreprises d'utilité publique dans la région. » A un autre point de vue on pourrait dire que c'est un impôt nouveau dont l'incidence, par l'effet naturel d'une loi économique bien commune, retombera précisément sur

le consommateur, au nom duquel on parle et qu'on veut protéger ! Ainsi donc, qu'on envisage le point de vue du demandeur en concession ou celui du consommateur, on se trouve en présence d'une clause qui pèse sur l'un ou l'autre et qui ne profite qu'à l'Etat qui se réclame d'un intérêt général qui est des plus contestables.

2° *Institution de la concession.* — L'Administration aura à faire choix d'un concessionnaire. C'est ici où son rôle deviendra particulièrement délicat et où la mission de décerner la couronne « au meilleur », au candidat le plus méritant, sera laborieuse ! Quels seront les signes qui marqueront au front l'élu de l'Administration ? Quels seront les titres qui décideront sa vocation à la concession ? On fera entrer en ligne de compte sans aucun doute les garanties de solvabilité, de moralité et de compétence technique et industrielle ! On supputera le quantum des avantages offerts par les demandeurs, soit au point de vue de la marge de la réserve d'énergie, soit au point de vue des tarifs, soit aussi en ce qui touche les sacrifices que l'industriel, en mal de concession, fera, témérairement peut-être, dans l'intérêt des services présents ou futurs ; on arbitrera la valeur du fameux *concours financier* qui, pour les timides ou les sages répugnant à faire un saut dans l'inconnu, sera un obstacle infranchissable, mais qui, pour les gens osés et pour les habiles, sera une clause de style sans conséquence. C'est là où la commission mixte « ad hoc » devra déployer tout son talent. Cette Commission, dont l'art. 16 du projet fixe le rôle et la composition, échappera difficilement à cette critique qu'elle n'est qu'une émanation de l'autorité supérieure, qu'une sorte de Concile des hauts dignitaires de l'Administration. On voudrait y voir figurer les représentants qualifiés de l'industrie ou des syndicats patronaux intéressés ; cette collaboration aurait tout au moins ce double résultat de permettre aux hommes d'action de l'industrie d'apporter le concours de leur savoir et de ne pas laisser sans défense la cause des industriels dans une assemblée, très compétente sans doute, mais singulièrement diminuée aux yeux des intéressés par cette empreinte, par ce pli professionnel, qui porte avec lui l'esprit et les tendances de son origine.

C'est donc à bon droit que les industriels se défient de l'Administration, si mauvais juge des intérêts privés, dans cette fonction particulièrement délicate où le sentiment de la justice distributive se trouvera, sinon amoindri, du moins dévié ou déformé par des considérations étrangères et les pressions politiques qui ne manqueront pas de s'exercer.

Les articles 3 et 4 indiquent d'une façon sommaire comment sera instituée la concession et ce que comprendra le cahier des charges imposé au concessionnaire.

La déclaration d'utilité publique et la concession seront faites par décret rendu sur l'avis conforme du Conseil d'Etat et sur le rapport du ministre de l'Agriculture, s'il s'agit d'eaux navigables ni flottables et sur le rapport du ministre des Travaux publics, s'il s'agit d'un cours d'eau navigable ou flottable. Ce décret sera précédé d'une série de mesures d'instructions, enquêtes, avis des Conseils généraux et des Conseils municipaux intéressés et aussi de la Commission mixte.

Le détail de ces opérations sera fixé par un règlement d'administration publique ; c'est dire qu'on se trouve, à cet égard, en présence de l'inconnu, mais que l'expérience qu'ont déjà les industriels du formaliste administratif en matière d'autorisations sur les eaux domaniales leur permet de se rendre compte des difficultés et de la longueur de cette procédure usante. Dans le projet de la Commission parlementaire le schéma des formalités préalables à la déclaration d'utilité publique a été soigneusement dessiné ; tout est prévu et réglé, mais quelles complications ! Il est probable que le règlement d'administration publique nous offrira quelque chose d'analogue.

Le cahier des charges rédigé par l'Administration suivant une formule type, constituera le titre du concessionnaire ; il déterminera :

« 1° La durée de la concession ;

» 2° Les ouvrages, terrains, bâtiments, engins de toute nature qui constituent les dépendances immobilières de la concession : ces dépendances comprennent les installations ayant pour objet l'amélioration du régime du cours d'eau, la retenue et la dérivation de l'eau, la transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique ou électrique, la conduite de l'eau et de l'énergie s'il y a lieu, enfin l'entretien et l'exploitation de ces diverses installations ; elles ne comprennent pas les ouvrages destinés à l'utilisation de l'énergie produite ou de l'eau fournie, qui demeurent en dehors de la concession ;

» 3° Le règlement d'eau de l'usine et, notamment le volume d'eau minimum à maintenir dans le lit naturel, ou à réserver dans l'intérêt de l'alimentation en eau des habitations ou de l'irrigation ;

» 4° Les conditions générales concernant l'emplacement des prises d'eau et des barrages, le tracé des canaux de dérivation, de décharge et de fuite, et la consistance des ouvrages que le concessionnaire est tenu d'établir, sans préjudice des obligations qui pourraient lui incomber vis-à-vis des tiers ;

» 5° Les charges imposées au concessionnaire, tant sous forme de fourniture d'eau et d'énergie à l'Etat, aux départements, aux communes, ou aux associations syndicales autorisées que sous forme de concours financier à des entreprises d'utilité publique dans la région. »

La séparation est complète entre l'usine *hydraulique publique* et les installations privées ou publiques ou *usines d'utilisation*.

Le concessionnaire est libre de disposer de l'eau et de la force motrice de l'usine publique comme il l'entend, sauf les *affectations prévues immédiatement* pour les services publics et celles indiquées au cahier des charges comme réservées *éventuellement* pour le même objet.

Quelque respectables que puissent être les intérêts généraux et l'intérêt des services publics, il faut cependant qu'un industriel se rende compte des obligations que lui créent les clauses dont nous venons de parler. Chacun sait qu'une industrie, quelle qu'elle soit, exige pour pouvoir prospérer des transformations incessantes ; tous les 10 ans l'outillage doit être renouvelé et la période des améliorations ne se ferme jamais. On est en droit de se demander comment un industriel qui a accepté un cahier des charges avec les obligations que nous connaissons pourra matériellement faire face à ces nécessités techniques. Si, comme cela est à craindre, l'Administration, dont la main se fera sentir pendant toute l'existence de l'usine hydraulique publique, exige que le concessionnaire fasse un usage constant et régulier de la chute d'eau, comment l'usinier, qui ne désire cependant pas les chômages, pourra-t-il ralentir ou arrêter sa marche ? Comment les transformations, études et travaux de réorganisation nécessaires pourront-ils se faire dans des conditions aussi précaires et avec l'obligation d'assurer la force motrice à des services publics ! Ce point a été négligé, et pourtant il a une importante primordiale ! Quelle sera la sanction si l'usinier ne satisfait pas à cette obligation de son cahier des charges ? Sera-ce la déchéance ? Quand et comment interviendra-t-elle ? Nous y reviendrons plus loin ; mais voilà déjà bien apparente une des conséquences de cette vie commune, de cette concession mixte qui fait chevaucher les intérêts publics sur les intérêts privés du concessionnaire, quand elle ne les met pas, par la force des choses, dans un état de conflit aigu !

Le premier point sur lequel le cahier des charges aura à s'expliquer c'est sur la durée

de la concession. Le projet du Gouvernement ne l'admet que *temporaire* : c'est, nous le savons, le régime analogue à celui de la concession en matière de travaux publics qui a pour base le principe de la précarité. Si les situations étaient identiques et si on pouvait attribuer aux concessions de la force hydraulique le même caractère qu'à celles qui visent l'eau, le gaz ou la lumière, qui, elles, sont véritablement des concessions de travaux publics, on comprendrait l'adoption du système de la concession temporaire ; mais ces exploitations reposent sur des assises ayant une consistance tout à fait différente ; les unes ont un objectif nettement déterminé, elles sont en général armées d'un droit privatif, d'un monopole, elles sont alimentées par des péages réguliers et à des tarifs invariables, et leurs amortissements peuvent jouer d'une façon presque automatique ; les autres sont, nous l'avons vu, solidaires des usines d'emploi et des fluctuations du marché, non seulement national, mais mondial. Aussi quelle incertitude dans leur vie industrielle, quel flottement dans leur exploitation ! Qui pourra sérieusement fixer la durée de la concession en prenant pour base de calcul la période nécessaire pour amortir les immobilisations ! Ce sera là le point noir pour les futurs demandeurs en concession d'usines publiques. Qui n'aperçoit qu'avec une concession à durée variable, la porte restera largement ouverte à toutes les rivalités et à tous les marchandages, puisque cette question de durée sera forcément l'un des éléments du concours entre les candidats à la concession !

« Une industrie donnée n'a qu'un temps évidemment, dit avec tant de raison, M. Ch. Pinat,... (1) mais ses évolutions sont par essence si brusques et si imprévues qu'elles ne sauraient jamais cadrer avec des périodes fixées d'avance et arbitrairement.

» Pour obvier à cette difficulté le Gouvernement propose d'ouvrir la procédure d'institution d'une concession nouvelle dans les cinq ans qui précèdent l'expiration. La difficulté subsiste en son entier, elle n'est pas résolue, elle est seulement déplacée ; l'instant critique est avancé de cinq ans, période insuffisante pour rendre possibles de nouvelles installations, période trop longue pour attirer si longtemps d'avance un nouveau concessionnaire, qui aurait cinq ans à attendre avant d'utiliser.

» L'échéance d'une concession temporaire est fatale, aucun expédient ne peut faire qu'elle n'aboutisse pas, et cette échéance sera une longue période morte. »

3°. *Fin de la concession. — Droits des tiers.* — Indépendamment de la mort naturelle résultant de la marche du temps et de l'échéance fatale du terme de la concession (qui a au moins le mérite relatif d'être une date connue), le concessionnaire est exposé encore à d'autres accidents pouvant entraîner la fin de sa vie industrielle, ce sont le *rachat* et la *déchéance* (art. 13 et 14).

Le rachat, a-t-on dit, n'est en définitive qu'une clause connue « visant et définissant à l'avance les conséquences possibles d'une expropriation (2) ». C'est très vrai et puisque nous ne contestons pas le principe de l'expropriation de la loi de 1841, nous pouvons bien admettre cette autre expropriation « sui generis » qu'est le rachat. Aussi bien n'est-ce pas sur le principe du rachat, dont la fatalité apparaît inéluctable dès lors qu'on admet le principe de la concession, perpétuelle ou temporaire, mais sur la façon dont il s'exercera que la critique peut trouver un fondement sérieux. Il y a d'abord la question de l'époque de rachat. On a pris comme base une période de 15 ans après la délivrance de la concession, comme en matière de travaux publics. Les réflexions qui ont été faites à propos de

(1) Rapport présenté par M. Ch. Pinat, à la Société d'Économie politique et sociale de Lyon, (20 décembre 1901).

(2) M. Barthélemy, *loc cit.*

la durée de la concession s'imposent également ici et il n'est pas douteux que la période de sécurité doive porter sur un temps beaucoup plus long si l'on veut que l'usine hydraulique puisse vivre.

La question de savoir quelle sera la juridiction chargée de déterminer le prix du rachat et quels seront les éléments de ce prix est capitale.

Dans le projet gouvernemental, c'est une commission d'arbitrage composée de neuf membres qui statuera. Ce système, emprunté à la loi de 1880 sur les chemins de fer d'intérêt local, présente cette avantage que la juridiction arbitrale est plus rapide et plus simple. Il offre en outre cet intérêt en attribuant directement compétence au Conseil d'Etat de supprimer un degré de juridiction en dispensant les parties d'aller d'abord devant le Conseil de Préfecture ; par contre, étant donnée la complication des questions, il est à craindre que les arbitres ne soient souvent embarrassés et par suite peu compétents. Nous préférerions peut-être qu'il soit dérogé aux règles du droit commun qui attribue la connaissance de ces questions à la juridiction administrative et en voir saisir les tribunaux civils ; ces derniers, en effet, offriraient vraisemblablement une plus grande garantie d'indépendance que les tribunaux administratifs qui sont forcément impressionnés par la solidarité et la confraternité nées d'une origine assez commune et par l'ambiance du milieu administratif qui les entoure et les pénètre nécessairement.

Le concessionnaire peut être en outre évincé par l'effet de l'application d'une des clauses de *déchéance* prévues à l'article 14.

C'est le cahier des charges qui contiendra l'énumération des causes d'éviction du titulaire de la concession.

Voici, d'après le projet de la Commission, quelles pourront être ces causes : Réunion illicite de concession — refus de paiement des frais exposés par l'Etat pour l'éxécution d'*office* des travaux nécessaires à la continuité des fournitures d'eau ou d'énergie dues aux services publics — non-exploitation dans les délais — inexécution des ouvrages conformément aux prescriptions du cahier des charges ou non-acquisition des terrains dont l'acquisition est prévue — suspension de l'exploitation pendant cinq ans.

Plusieurs de ces causes sont raisonnables, mais que dire de la déchéance basée sur la non-exécution de certains travaux faits d'office par l'Administration ou imposés au cahier des charges ? Que dire de la déchéance pour non-acquisition de terrains dans les conditions du cahier des charges ? Le cahier des charges sera la loi des parties, c'est bien entendu, mais comment seront interprétées ces clauses souvent excessives ? Par qui l'action en déchéance sera-t-elle mise en jeu ? Par l'Administration toujours, par l'Administration qui pourra avoir de bons motifs pour pousser à la déchéance.

Ce fantôme permanent de l'intervention de l'État troublera plus d'une fois sans doute le sommeil du malheureux concessionnaire d'une usine publique ! Est-il excessif de penser que cette menace doive décourager plus d'une bonne volonté et arrêter l'élan de plus d'un demandeur en concession ?

Le titre II du projet règle les rapports du concessionnaire avec les tiers dont les droits peuvent être atteints par la création d'une usine publique.

La déclaration d'utilité publique une fois prononcée les tiers se trouvent en présence d'une situation juridique nouvelle au regard du titulaire de la concession. La privation de tout ou partie des eaux, à un titre quelconque, ouvre pour les tiers lésés un droit à indemnité ; leur droit d'usage est donc transformé, nové, en un droit à la réparation du préjudice qui leur est causé du fait de l'exécution par le concessionnaire de tous travaux ayant pour but d'aménager la chute et de mettre en valeur son titre.

La réparation pourra consister soit en restitution en nature de l'eau ou de l'énergie enlevée suivant les circonstances et les conditions d'exploitation de l'usager.

Toutefois, tous les usagers ne seront pas admis à faire valoir leurs droits en vue du paiement d'une indemnité. Le projet gouvernemental ne reconnaît que les *usagers antérieurs* (art. 9). C'est le système adopté quand il s'agit de travaux publics: « ceux-là seuls, dit l'exposé de motifs, peuvent prétendre à une indemnité qui subissent un dommage actuel, c'est-à-dire qui se trouvent privés d'une eau ou d'une force dont ils faisaient *effectivement usage* ».

Nous ne saurions accepter cette thèse, car elle est inéquitable et partant inadmissible. Elle a le caractère odieux d'une éviction et la formule privative qui consacre cette dépossession souligne, d'une façon encore plus accusée s'il est possible, l'arbitraire et le manque de sincérité du procédé. Non seulement, en effet, on n'a pas pris la peine, dans l'exposé de motifs, de discuter la valeur de cette décision spoliatrice, mais encore on affecte de considérer les droits des usagers non effectifs comme des droits théoriques qui ne sauraient par suite servir de base à une indemnité. Cette conception n'est pas seulement malsaine, elle est en plus malfaisante ! On ne voit pas bien en effet comment le fait de ne pas user d'un droit pourrait constituer une déchéance de ce droit. C'est là une prescription nouvelle dont la fantaisie gouvernementale a imaginé la formule ; mais cela ne saurait suffire à lui donner une assiette juridique et à la faire accepter par les gens de bonne foi !

Imaginons un propriétaire qui s'est rendu maître à grands frais d'un terrain en bordure d'un cours d'eau dont il se propose un jour d'utiliser la pente ; admettons même que cette acquisition n'ait été faite qu'en vue d'une revente. Dans l'un et l'autre cas la situation de ce propriétaire est respectable et doit être respectée.

Pourquoi déposséderait-on cet usager en espérance, cet homme qui n'a pu encore réunir le capital nécessaire pour mettre en valeur son droit sur l'eau; pourquoi décréter que ce titre de propriété est devenu caduc parce qu'il n'a pas été ou n'a pu être utilisé ?

Il y a là manifestement une iniquité choquante... Oui ou non les droits des riverains sont-ils consacrés par un texte de loi? Assurément oui ; et du reste les auteurs du projet et la Commission parlementaire ne discutent pas le principe lui-même qui est inscrit dans l'article 644 du Cede civil et rappelé dans l'article 2 de la loi du 8 avril 1898 sur le régime des eaux. Ils se bornent à dire qu'il n'y a ouverture d'un droit à indemnité qu'autant qu'il y a *dommage immédiat.* Ils font également valoir cet autre argument tiré de l'analogie que présenterait, suivant eux, le cas de modification apportée au régime d'un cours d'eau : ils affirment que d'après la jurisprudence aucune indemnité n'est due dans cette hypothèse pour la privation des droits non encore exercés. Cette thèse est indéfendable. Et d'abord que signifie cette distinction entre le dommage immédiat et celui qui se produira *in futurum.* Il y a ou il n'y a pas dommage : toute la question est là ; le reste n'est qu'une subtilité qui n'est certes pas l'expression d'une équité impeccable. Quant à la comparaison invoquée elle ne nous touche pas par cette simple raison que le bon sens suggérera à toute personne qui voudra y réfléchir un instant : la modification au régime d'un cours d'eau est avant tout un fait accidentel et il est fort possible que les tribunaux, considérant cet événement dans cet esprit, aient souvent rejeté les demandes d'indemnité des usagers non effectifs ; la suppression par voie législative et par voie de disposition générale d'un droit certain et précis est toute autre chose et on ne saurait assimiler les deux cas. Il est tout différent en effet de refuser une indemnité à un usager non effectif sur tel ou tel cours d'eau que de décréter que tous les usagers non effectifs de tous les cours d'eau non navigables et flottables de la France entière seront déchus de tout droit à indemnité, en cas de concession.

A côté du trouble que l'exercice de la concession apportera au droit de l'usage de l'eau, effectif ou non, il y a toute une série de dommages qui pourront affecter plus ou moins gravement la propriété elle-même. Les propriétaires, dit l'exposé de motifs du projet, se trouveront lésés soit par l'occupation des terrains pour l'établissement des ouvrages, soit par l'envahissement des eaux provenant du relèvement du plan d'eau.

Le projet de loi distingue entre le cas où le trouble apporté à la propriété sera de peu d'importance et donnera lieu simplement à une indemnité de servitude et le cas où il devra être procédé par voie d'expropriation. Les servitudes sont relatives à l'établissement des canaux, conduites souterraines, conducteurs d'énergie : leur application se fait sous le contrôle des tribunaux civils chargés de concilier l'intérêt de l'opération avec le respect de la propriété, comme en matière d'irrigation ou de drainage. On avait pensé à définir dans la loi les cas où la servitude pourrait être invoquée, il a paru difficile d'établir des distinctions assez précises, et préférable, par suite, de laisser le pouvoir d'appréciation aux tribunaux.

L'occupation du *lit* et la submersion des berges *non susceptibles de culture* peut se faire moyennant une simple indemnité de servitude, sans qu'il soit besoin de recourir à l'expropriation. C'est l'extension des lois du 29 avril 1845 et 11 juillet 1847 à l'industrie, textes, qui, ainsi que nous l'avons vu, ne visaient que des intérêts agricoles.

Dans tous les autres cas, c'est-à-dire dans tous les cas où l'occupation par voie de servitude n'est pas admise, le concessionnaire est tenu d'acquérir les terrains sur lesquels doivent être faits les ouvrages ou qui sont submergés par le relèvement du plan d'eau : l'expropriation se fait conformément à l'article 16 de la loi du 21 mai 1836, relative aux chemins vicinaux.

Edmond JUGE.
Avocat-conseil.

(*A suivre*).

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Sur la réaction d'induit des alternateurs, par C-F. Guilbert.

A propos de l'analyse de travail publiée dans le numéro du 2 mai (p. 183 à 190), M. Guilbert nous fait observer qu'il eut été utile de reproduire, dans la partie de ce travail consacrée au calcul d'un des alternateurs Brown, Boveri et Cie de la station de Paderno (p. 186), les données utilisées dans ce calcul; nous faisons droit à cette remarque en donnant ci-dessous le tableau de ces données [1] :

ALTERNATEUR BROWN, BOVERI ET Cie

Données principales.

Puissance apparente en kilovolts-ampères. . . .	1500
Facteur de puissance minimum.	0,8

[1] Signalons en outre quelques erreurs d'impression qui n'ont pas été corrigées :

P. 183, col. 1, lig. 3, *au lieu de* 10 p. 100 ampèretours, *lire* 1 050 ampèretours.

P. 183, col. 1, ligne 9, *au lieu de* Lahinger, *lire* Lahmeyer.

P. 184, col. 1, lig. 10, *au lieu de* Arlikon, *lire* Oerlikon.

P. 184, col. 1, dernière ligne, *au lieu de* Holben, *lire* Kolben.

P. 187, col. 2, lig. 4 en remontant, *au lieu de* $\frac{46}{28,56}$ 1,62, *lire* $\frac{46}{28,56} = 1,62$.

P. 188, col. 2, lig. 3, *au lieu de* $V = \frac{\Phi_u \times \Phi_a}{\Phi_u}$, *lire* $V = \frac{\Phi_u + \Phi_a}{\Phi_u}$.

P. 188, col. 2, lig. 3 en remontant, *au lieu de* et qui, *lire* ce qui.

P. 189, col. 1, lig. 10 en remontant, *au lieu de* courant par phase = 76 volts, *lire* = 76 ampères.

Puissance vraie en kilowatts pour cos minimum	1200
Nature des courants	triphasés
Tension aux bornes, en volts	14500-13500
Tension par phase, en volts	8400-7800
Intensité du courant en ampères par phase	60
Vitesse angulaire en tours par minute	180
Fréquence en périodes par seconde	42

Inducteurs.

Nombre de pôles inducteurs	28
Diamètre de l'inducteur à l'extrémité des pièces polaires, en cm	408
Nature du métal des pièces polaires	tôles
Forme des pièces polaires	rectangulaire
Dimensions des pièces polaires en cm	52 × 25
Surface des pièces polaires en cm²	1300
Nature du métal des noyaux polaires	acier
Forme de la section des noyaux polaires	circulaire
Dimensions de la section des noyaux polaires, en cm	30
Section des noyaux polaires	705
Nature du métal de la carcasse inductrice	acier
Diamètre extérieur de la jante, en cm	336
Diamètre intérieur de la jante, en cm	280
Largeur de la carcasse inductrice, en cm	47
Nombre de bobines inductrices	28
Nombre de spires par bobines inductrices	73
Nombre de circuits inducteurs en parallèle	1
Nature de l'enroulement inducteur	bande sur champ
Dimensions du cuivre inducteur, en mm	32 × 3
Section du cuivre inducteur, en mm³	96

Induit.

Entrefer simple en mm	10
Diamètre d'alésage de l'induit, en cm	410
Hauteur radiale des tôles induites en cm	30
Diamètre extérieur de la carcasse de l'induit, en cm	515
Diamètre intérieur de la carcasse de l'induit, en cm	475
Largeur totale de la carcasse de l'induit, en cm	55
Nombre de perforations par pôle	3
Nature des perforations	trous
Diamètre radial des perforations, en mm	6,5
Nature de l'enroulement induit	bobines
Nombre de bobines de chaque phase	14
Groupement des bobines ou barres de chaque phase	en série
Nombre de spires par bobine	30
Nombre de conducteurs distincts par perforation	30
Nature des conducteurs induits	fil rond
Diamètre des conducteurs induits, en mm	6
Section des conducteurs induits, en mm²	28,3
Résistance de l'induit par phase, en ohms	0,9

Essais.

Courant d'excitation à vide, en ampères	145-120
Courant d'excitation pour obtenir l'intensité normale en court-circuit	39,2

L'accumulateur Jungner-Edison. — *Elektroteknisk Tiddsskrift.* Copenhague, VII, n° 11, p. 77, 80, 1903.

Il y a quelque temps, un quotidien suédois, « Nya Dagligt Allahanda » donnait l'historique de la polémique relative à la priorité de l'accumulateur Jungner-Edison. D'après cet article, il paraît que le Dr W. Jungner, chimiste suédois, a, dès 1896-1900, fait dans le domaine de l'électrochimie, plusieurs découvertes et inventions qui ont eu un retentissement peu commun et dont le but était de fournir la formule d'un accumulateur bien résistant et efficace et qui fût à la hauteur des exigences de l'Electrotechnique moderne.

On sait que l'accumulateur à plaques de plomb, le seul type courant, est, en dépit des nombreux brevets tendant à le perfectionner, un dispositif bien imparfait et qui après un usage relativement court manifeste les défauts multiples dont il est affecté. Son débit, en comparaison de la quantité d'électricité qu'il absorbe, est du reste peu élevé, et un maniement maladroit le compromet facilement. Aussi l'emploi de cet accumulateur dans le service des postes et télégraphes, en automobilisme et pour l'éclairage électrique, n'est guère avantageux.

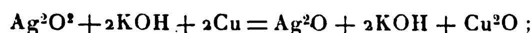
M. Jungner vit la cause de tous ces inconvénients dans les altérations que subit dans les charges et décharges la composition chimique tant des plaques que du liquide, en même temps que leur volume est modifié. C'est pourquoi il signala, dès 1896, la nécessité d'abandonner complètement ce système, la solution du problème dépendant de savoir s'il était possible de construire des plaques et électrolytes tels que les électrodes, tout en faisant fonction de sources de courant, fussent insolubles dans le liquide, qui ne devait aucunement être altéré.

Après avoir enfin, en 1897 et 1898, trouvé le système recherché, il breveta, en 1899, son invention en Suède et dans les autres pays. Voici comment M. Jungner formulait ses revendications : Un système d'accumulateurs dans lequel l'électrolyte est constitué par de la potasse en solution aqueuse ; les plaques se composent de métaux ou oxydes métalliques pulvérulents, insolubles dans le liquide et fournissant une tension électrique suffisante.

L'un des types de ces accumulateurs comporte un châssis rectangulaire en nickel renfermant

du peroxyde d'argent (Ag^2O^2) associé à une matière visqueuse capable d'en augmenter la porosité ; c'est là le pôle positif. La cathode se compose d'un treillis en cuivre, où du cuivre métallique est comprimé d'après un procédé spécial, soit électrolytiquement, soit par voie mécanique. Les plaques à polarité différente sont séparées les unes des autres par des feuilles d'amiante, humectées d'une solution de potasse. Le tout est disposé à l'intérieur d'une boîte en ébonite.

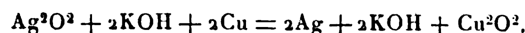
Ce n'est qu'une fois la pile surchargée que du gaz est développé. Voici l'équation réglant la décharge :



$$Ag^2O^2 + 2KOH + 2Cu = Ag^2O + 2KOH + Cu^2O\ ;$$

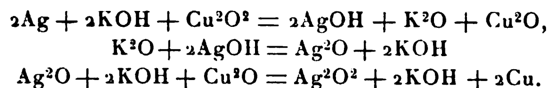
on retrouve ainsi la quantité de potasse employée.

La décharge se continuant, voici le processus qui a lieu :



$$Ag^2O^2 + 2KOH + 2Cu = 2Ag + 2KOH + Cu^2O^2.$$

Dans la charge, on aura alors :



$$2Ag + 2KOH + Cu^2O^2 = 2AgOH + K^2O + Cu^2O,$$
$$K^2O + 2AgOH = Ag^2O + 2KOH$$
$$Ag^2O + 2KOH + Cu^2O = Ag^2O^2 + 2KOH + 2Cu.$$

Il paraît qu'avec ce dispositif, M. Jungner a obtenu une capacité de 40-50 watts-heure par kilogramme.

L'expérience est venue vérifier la clarté des vues de M. Jungner. Ainsi son dernier brevet (ainsi que celui de M. Edison) n'a trait qu'à quelques détails de l'invention primitive. Ces accumulateurs emploient, de préférence, le cadmium, le cuivre, le fer, le manganèse, et d'autre part les oxydes d'argent et de nickel. Après avoir eu plusieurs fois l'occasion de démontrer l'applicabilité dans la pratique de son invention, M. Jungner a cédé ses brevets (en mai 1900) à une grande Société scandinave comprenant divers grands financiers. Quelques mois après, une automobile américaine, équipée de la pile Jungner, a été soumise a des essais officiels.

Cette automobile pesait, à part la batterie et les voyageurs, 258 kg ; la batterie d'accumulateurs n'avait qu'un poids de 290 kg. Le résultat a été surprenant : l'automobile était capable de parcourir des chemins détrempés et boueux à raison d'au moins 140 km par charge ; c'est dire que le record mondial fut battu de plus du double.

Cette batterie empruntait des électrodes positives insolubles en peroxydes de nickel et d'argent pulvérulents. Comme cependant ces matières sont fort coûteuses et que les feuilles d'amiante séparant les plaques devaient être échangées après chaque 120 décharges, M. Jungner, dès le printemps de cette même année, employa comme métal positif du peroxyde de nickel exclusivement, et du fer pulvérisé comme métal négatif. C'est cette modification qui fait l'objet d'un brevet suédois du 21 janvier 1901. Or comme, en vertu de la législation internationale des brevets d'invention, M. Jungner ne devait prendre les brevets étrangers que dans un délai de six mois à partir de cette date, M. Edison est venu trop tard, en demandant un brevet le 5 février de cette même année, tant pour le système lui-même que pour les détails. La Société des brevets Jungner s'étant inscrit en faux contre le brevet anglais de M. Edison, l'Office des brevets anglais a dû réduire beaucoup les revendications de ce dernier. Aussi l'accumulateur Edison ne pourra être fabriqué que moyennant licence de la part de ladite Société. Il paraît que l'Office allemand des Brevets a également opposé une fin de non recevoir à la plupart des revendications de M. Edison.

Quant aux États-Unis, les Offices des Brevets loin d'accorder les brevets qu'il leur demandait, ont posé des questions embarrassantes ; un jury international aura, tout d'abord, à se prononcer sur certains points litigieux.

Ce n'est que dans les pays où les brevets sont délivrés « sans garantie du Gouvernement » que M. Edison a réussi dans ses tentatives. La presse quotidienne s'est montrée tout aussi disposée à élever Edison aux nues, à propos de cette invention, que la presse technique tant européenne qu'américaine a protesté sérieusement contre la priorité de l'inventeur américain. Les efforts de M. Edison d'ébranler la position de la Société Jungner n'ont fait que lui faire du tort à lui-même. Loin de s'inscrire contre les hommages dont Edison fut l'objet de la part de la presse quotidienne, cette Société a tâché d'entrer avec lui en relations amicales.

L'article que nous venons de résumer (1) offre un intérêt tout spécial, en ce qu'il explique le mystère dont M. Edison s'est plu à entourer son

(1) Nous en laissons toute la responsabilité à l'auteur. N. d. l. R.

invention ; il ne faut pas cependant écarter la possibilité que les deux inventeurs aient trouvé la solution du problème d'une façon absolument indépendante.

Or, M. Jungner vient de breveter un procédé de fabrication de ses plaques, lequel à propos de ce que nous venons de dire ne sera pas dépourvu d'intérêt.

D'après la description qu'en donne le brevet danois, il s'agit d'un procédé pour augmenter électrolytiquement la surface des métaux dont les oxydes sont insolubles dans les solutions alcalines. Ce procédé est caractérisé par ce fait qu'on ajoute, à la solution alcaline où le métal à traiter sera plongé comme anode, un sel dont le radical acide forme avec le métal un oxyde insoluble. C'est ainsi qu'on augmente la surface du corps métallique, de manière que le métal puisse être employé fort avantageusement comme support de la matière active, alors même que celle-ci ne serait que peu ou point conductrice ; cette matière, amenée à un contact moléculaire fort intime avec le conducteur, donne à l'électrode ainsi préparée un coefficient économique fort élevé, quant à l'emmagasinage et au débit d'énergie électrique.

En vue d'obtenir une augmentation de la surface aussi uniforme que possible, on emploie dans la présente invention des dispositions mécaniques spéciales de l'appareil électrolytique. Les figures 1 et 2 représentent deux modifications différentes d'un appareil muni de ces dispositions.

a (fig. 1) est la plaque métallique, l'anode qu'il s'agit de creuser électrolytiquement, pour lui donner une surface plus grande. *k* est la cathode pourvue de pointes dont les extrémités se trouvent à la même distance les unes des autres et de la surface de l'anode. Le conducteur cathodique tout entier, à l'exception des bouts extrêmes des pointes, est recouvert d'une matière *h*, indifférente et isolante. C'est pourquoi les points d'attaque, à la surface de la cathode, sont situés au voisinage immédiat des pointes. La figure 2 donne une autre disposition réalisant le même résultat. Ici c'est l'anode *a* qui est recouverte d'une couche isolante, où de petits trous circulaires sont disposés à des distances égales, mettant à découvert la surface métallique. Si les surfaces des électrodes sont parallèles, les points d'attaque se réduisent exclusivement à ces endroits mis à découvert, et quand le creusement ou l'enfoncement est avancé à un certain degré, on retire facilement la couche isolante. Les points d'attaque peuvent être tellement rapprochés qu'on forme, pour ainsi dire, des lignes d'attaque. Aussi les pointes de la figure 1 peuvent être remplacées par des saillies bien aiguës, soit rectilignes, soit courbes, isolées jusqu'aux contours. Les trous circulaires de la figure 2 peuvent d'autre part être remplacés par des sillons soit rectilignes soit courbes.

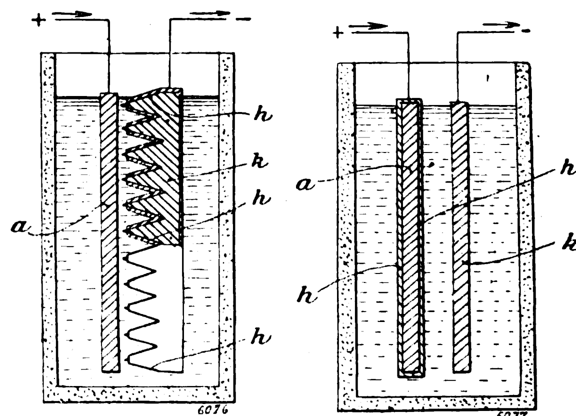


Fig. 1 et 2.

Dans bien des cas, ces dispositions ne sont pas d'absolue nécessité ; il suffit alors de traiter la plaque métallique à l'émeri, pour obtenir une perforation uniforme de cette dernière ; les points d'attaque se placeront en regard des endroits les plus pointus ou les plus saillants.

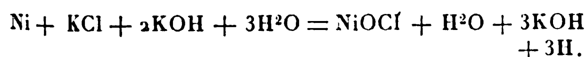
Le composé métallique restant à l'état insoluble dans les perforations de la plaque peut dans bien des cas être utilisé directement et dans un électrolyte convenable comme substance active, en vue d'emmagasiner et de débiter de l'énergie électrique.

Lorsque au contraire ce composé n'est point destiné à faire fonction de matière active, on le retire de la plaque en plongeant cette dernière dans une solution dissolvant le composé métallique, mais non pas le métal lui-même. On peut alors introduire dans les perforations de la plaque des matières convenables qu'on y fixe, soit par soudure, soit par fusion. Les présents procédés se prêtent à augmenter la surface d'à peu près tous les métaux. Mais en raison du grand nombre de conditions y jouant un rôle, il convient d'établir, dans chaque cas, par des

expériences spéciales, quel procédé donne la perforation la plus uniforme et des trous d'une grandeur et d'une densité les plus avantageuses par rapport à la densité des plaques, etc., etc. Pour fixer une limite à la petitesse des trous, il est bon de dire que, lorsque l'agrandissement le plus fort ne permet pas de distinguer ce système de perforations, les avantages présentés par le support métallique sont tout à fait illusoires au point de vue électrolytique. Il convient même de faire en sorte qu'on puisse distinguer à l'œil nu soit les trous plus grands, soit l'ensemble des accidents de la surface.

Voici quelques exemples montrant les applications que peuvent recevoir les procédés précités.

Lorsqu'une plaque en nickel pur est plongée comme anode dans une solution de chlorure de sodium, on donne naissance à la formation de chlorure de nickel soluble, en même temps que la surface de la plaque est attaquée uniformément dans tous ses points, de manière qu'elle n'éprouve pas d'agrandissement sensible. Quand on introduit cette même plaque, également comme anode, dans une solution concentrée d'hydroxyde alcalin, il se forme à la surface une mince couche d'oxyde de nickel insoluble dans la liqueur et qui garantit la plaque contre toute altération ultérieure. Lorsque, au contraire, on mélange ces deux solutions de chlorure de sodium et d'alcali, dans des proportions et concentrations dépendant de la densité du courant, de la température, etc., on voit se former, à la surface de la plaque de nickel, surtout si cette dernière a été soumise à un traitement préalable à la lime, à l'émeri, etc., des oxychlorures de nickel de compositions différentes telles que par exemple l'indique la formule suivante :

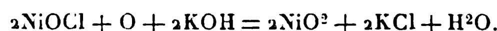


$$Ni + KCl + 2KOH + 3H^2O = NiOCl + H^2O + 3KOH + 3H.$$

Les oxychlorures de nickel, peu solubles dans la liqueur, forment à la surface de l'électrode, une couche verte ou noir verdâtre, capable de recevoir une consistance dure et résistante, au moyen d'un traitement convenable, et qui adhère fortement aux métaux.

Quand alors on introduit cette électrode comme anode dans une solution alcaline à 20-30 p. 100, et qu'on l'expose pendant six à huit heures à l'action d'un courant d'à peu près 1 ampère par centimètre carré, les portions de la couche d'oxychlorure voisines des métaux passent graduellement à l'état d'un oxyde élevé du nickel, dont la composition atomique correspond probablement à la formule NiO^2.

Voici alors la réaction qui a lieu à la surface polaire :



$$2NiOCl + O + 2KOH = 2NiO^2 + 2KCl + H^2O.$$

En retirant cette couche d'une surface de nickel préparée de la manière indiquée, ce qui peut se faire, par exemple, en introduisant la plaque dans de l'acide chlorhydrique ($NiO^2 + 4HCl = NiCl^2 + 2H^2O = Cl^2$), de façon que la surface devienne métalliquement pure, on reconnaît facilement sa grande porosité.

Le procédé indiqué pour le nickel peut également servir à préparer des plaques d'autres matières de façon à ce qu'elles puissent devenir les supports de matières actives destinées aux accumulateurs, grâce à l'agrandissement qu'éprouve leur surface. C'est le cas surtout des métaux : plomb, cuivre, cadmium et fer, pourvu qu'on les traite d'une façon convenable et qu'on modifie le procédé suivant la nature, la concentration, la température, la densité de courant, etc., des électrolytes.

Le fer et l'acier se creusent de préférence au sein d'une solution alcaline très diluée (2 ou 5 gr par litre d'eau) ; les hydroxydes de fer sont peu solubles dans cette liqueur. La couche superficielle peut être détachée de la plaque en fer, d'une façon analogue à ce qui a été dit pour le nickel, au moyen d'une dissolution rapide dans l'acide chlorhydrique.

Les pores de la surface métallique mise à nu de cette façon pourront alors être remplis de matières capables de servir comme matières actives, soit immédiatement, soit après traitement convenable, en plongeant la carcasse de fer dans un électrolyte alcalin.

A. Gradenwitz.

DISTRIBUTION

Sur la capacité des câbles, par le Dr **Hubert Kath**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 38, 15 janvier 1903.

La notion de capacité se déduit généralement de la loi

$$Q = C\,\Delta V,$$

dans laquelle Q est la quantité d'électricité, ΔV la différence de potentiel et C la capacité.

La capacité d'un corps est la quantité d'électricité qu'il contient, quand il se trouve à un potentiel égal à 1 par rapport à l'espace ambiant; la capacité d'un condensateur, la quantité d'électricité ou la *charge* qu'il renferme, quand il est placé sous une différence de potentiel unité.

Les câbles employés en électricité industrielle se comportent comme des condensateurs et pour étudier les perturbations qu'ils occasionnent dans les installations, il faut connaître leur capacité : mais cette notion de capacité se complique ici, car il y a plusieurs conducteurs en présence, et l'auteur a pris pour but de rechercher si la façon ordinaire de calculer les charges électrostatiques prises par les câbles et consistant dans l'emploi d'une capacité apparente est justifiée dans tous les cas.

Considérons (fig. 1) un ensemble de conducteurs 1, 2, 3 ... n, à des potentiels différents V_1 V_2... V_n pris par rapport à l'espace ambiant supposé à l'infini (potentiels absolus). Les relations qui existent entre les quantités d'électricité ou *charges* des conducteurs Q_1, Q_2... Q_n et les potentiels absolus V_1 V_2... V_n sont alors linéaires et peuvent se mettre sous la forme,

$$Q_1 = q_{11}V_1 + q_{12}V_2 + \ldots\ldots + q_{1n}V_n$$
$$Q_2 = q_{21}V_1 + q_{22}V_2 + \ldots\ldots + q_{2n}V_n$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Les significations des coefficients sont immédiates : les coefficients à deux indices différents tels que q_{hk}, appelés par Maxwell *coefficients d'influence*, représentent la quantité d'électricité induite par influence sur un conducteur h par l'autre conducteur k porté au potentiel 1, tous les autres conducteurs autres que k (y compris h) étant au potentiel o.

Les coefficients à deux indices semblables appelés par Maxwell *coefficients de capacité* représentent la charge que prend un conducteur porté à un potentiel unité, en présence de tous les autres au potentiel o : c'est une valeur différente de la capacité absolue du conducteur seul dans l'espace, puisqu'elle tient compte de la réaction de quantités d'électricité induites par influence par ce conducteur sur les autres.

Pour rapporter ces coefficients à la notion de capacité telle qu'on la considère généralement pour un condensateur, appelons C_{hk} la capacité du condensateur formé par les conducteurs h et k abstraction faite des autres corps, et C_{ho} la capacité du condensateur formé par le conducteur h avec l'infini (fig. 2).

On peut alors écrire que la charge Q_1 prise

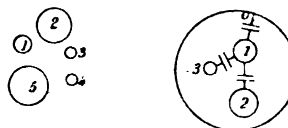


Fig. 1 et 2.

par le conducteur 1 est égale à la somme des charges du conducteur 1 prises dans tous les condensateurs qu'il forme avec l'infini et les autres conducteurs du système, soit

$$Q_1 = C_{10}(V_1 - V_0) + C_{12}(V_1 - V_2) + \ldots\ldots$$
$$+ C_{1n}(V_1 - V_n) = (C_{10} + C_{12} + \ldots + C_{1n})V_1$$
$$- C_{10}V_0 - C_{12}V_2\ldots\ldots - C_{1n}V_n.$$

Si on suppose les potentiels rapportés à l'infini et V_0 nul, on voit que cette équation s'identifie à celle de Maxwell, et que l'on a

$$q_{11} = C_{10} + C_{12} + \ldots + C_{1n}$$
$$q_{1k} = - C_{1k}.$$

La capacité Maxwellienne est la somme des capacités du conducteur par rapport à l'infini et aux autres conducteurs du système : c'est la *capacité apparente* du câble formé par différents conducteurs, quand tous les autres sont à un potentiel nul, capacité telle qu'on la définit généralement en téléphonie, et qui permet de calculer la charge prise par un conducteur d'un câble par la formule

$$Q = CV_1,$$

V_1 étant la tension du conducteur par rapport à un point neutre.

Quand tous les potentiels des autres conducteurs ne sont pas nuls, il faut chercher dans chaque cas si la notion de capacité apparente reste justifiée et identique à cette dernière.

Quant aux capacités mutuelles envisagées plus haut, elles ne sont autres que les coefficients d'influence de Maxwell, toujours négatifs, pris positivement.

Cherchons à calculer la capacité apparente C des câbles industriels sous plomb, relative au conducteur 1.

Soient V_0, V_1, V_2, V_3 les potentiels de la chemise de plomb et des conducteurs par rapport au point neutre (tensions étoilées), C_{10} C_{12} etc., les capacités mutuelles.

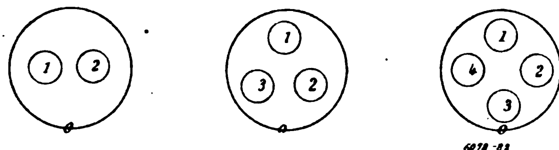


Fig. 3 à 5.

Dans l'emploi normal $V_0 = 0$; quand un des conducteurs est à la terre, V_0 est égal à la tension étoilée de ce conducteur.

1° *Câble à deux conducteurs* (fig. 3).

$$V_1 + V_2 = 0$$

α. Fonctionnement normal.

$$V_0 = 0,$$
$$Q_1 = C_{10}(V_1 - V_0) + C_{12}(V_1 - V_2) = (C_{10} + 2 C_{12}) V_1 - C_{10} V_0$$
$$C = C_{10} + 2 C_{12}.$$

β. Conducteur 2 à la terre.

$$V_0 = V_2 = -V_1$$
$$C = 2 C_{10} + 2 C_{12}.$$

2° *Câbles triphasés* (fig. 4).

$$V_1 + V_2 + V_3 = 0 \qquad C_{12} = C_{13}$$

α. Fonctionnement normal.

$$V_0 = 0$$
$$Q_1 = C_{10}(V_1 - V_0) + C_{12}(V_1 - V_2) + C_{13}(V_1 - V_3)$$
$$Q_1 = (C_{10} + 3 C_{12}) V_1 - C_{10} V_0$$
$$C = C_{10} + 3 C_{12}.$$

β. Conducteur 2 la terre.

$$V_0 = V_2$$
$$C = 0.$$

La capacité apparente est nulle. Cependant le courant de charge peut se calculer en tenant compte des équations suivantes :

$$J = \frac{dQ_1}{dt} = (C_{10} + 3 C_{12}) \frac{dV_1}{dt} - C_{10} \frac{dV_0}{dt},$$
$$V_1 = V \sin \omega t$$
$$V_2 = V_0 = V \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$J = (C_{10} + 3 C_{12}) \omega V \cos \omega t - C_{10} \omega V \left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$J = \omega V \left[\left(1,5\ C_{10} + 3 C_{12}\right) \cos \omega t - \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \omega t\right]$$

3° *Câbles tétraphasés* (fig. 5).

$$V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0 ; V_1 + V_3 = 0 ; V_2 + V_4 = 0.$$
$$C_{12} = C_{14}.$$

α. Fonctionnement normal.

$$V_0 = 0.$$
$$Q_1 = C_{10}(V_1 - V_0) + C_{12}(V_1 - V_2) + C_{13}(V_1 - V_3) + C_{14}(V_1 - V_4).$$
$$Q_1 = (C_{10} + 2 C_{12} + 2 C_{13}) V_1 - C_{10} V_0.$$
$$C = C_{10} + 2 C_{12} + 2 C_{13}.$$

β. Conducteur 3 à la terre.

$$V_0 = V_3$$
$$C = 2 (C_{10} + C_{12} + C_{13}).$$

γ. Conducteur 2 ou 4 à la terre.

$$V_0 = V_2 \text{ ou } V_0 = V_4.$$
$$C = 0.$$

Conclusion. — La capacité apparente d'un câble n'est donc pas une quantité absolument définie pour tous les cas, d'où la nécessité de toujours spécifier la formule d'après laquelle on l'a calculée. A. M.

TRACTION

Comparaison entre la traction à courant continu et la traction par courant triphasé, par **de Marchena, Boucherot, Korda**. *Bulletin de la Société internationale des Electriciens*, 2e série, t. III, p. 212-227 et 255-256.

A la séance de mars dernier, M. Korda décrivait le système à courants triphasés employé par la maison Ganz, de Budapest, sur les lignes de chemin de fer de la Valteline ; à celle d'avril, M. de Marchena donnait la description du système à courant continu appliqué par la Compagnie Thomson-Houston sur la ligne Milan-Gallarate [1]. Dans cette dernière communication

[1] L'installation de Milan-Gallarate a été décrite dans *L'Éclairage Électrique* du 2 novembre 1901, t. XXIX, p. 164, et quelques résultats d'exploitation ont été donnés dans le numéro du 23 août 1902, t. XXXII, p. 266. L'installation de la Valteline n'a été que signalée dans ces colonnes ; nous y reviendrons prochainement.

M. de Marchena a établi une comparaison entre ces deux systèmes de traction et cette comparaison a été suivie d'une discussion à laquelle ont pris part M. Korda et M. Boucherot. Nous reproduisons ci-dessous la partie de la communication de M. de Marchena relative à cette comparaison ainsi que les observations de M. Korda et M. Boucherot.

« L'installation de Milan-Gallarate, dit M. de Marchena, n'est pas la seule application en Europe du système à courant continu avec sous-stations de transformation. Le même système a été employé, aux environs de Paris, par la Compagnie de l'Ouest, pour l'alimentation de la ligne Invalides-Versailles et par la Compagnie d'Orléans, pour l'alimentation de la ligne Orsay-Austerlitz et son prolongement à Juvisy.

» Il va l'être par la Compagnie du P.-L.-M. pour le prolongement de sa ligne Fayet-Chamonix, et en Angleterre par la Compagnie North Eastern pour la transformation, sur une longueur de 64 km, de la ligne allant de Newcastle à la Tyne. Enfin, il a été adopté par la Compagnie du Métropolitain de Paris, par les divers métropolitains de Londres, sans parler des nombreuses applications faites aux États-Unis, tant pour les lignes interurbaines que pour les lignes métropolitaines.

» Il est donc certain que ce système a eu incontestablement la faveur jusqu'à ce jour, et il est à noter que son adoption dans bien des cas n'a été décidée qu'après une étude très approfondie des divers systèmes qui pouvaient lui être opposés et, en particulier, du système à courants triphasés employé sur les lignes de la Valteline.

» Il n'est donc pas sans intérêt de chercher à mettre en lumière les avantages et inconvénients respectifs de ces deux systèmes concurrents.

» Il est, en effet, certain, qu'aucune de ces deux solutions ne s'impose *a priori* d'une manière évidente, et que l'une et l'autre peuvent trouver leur application dans les cas si variés de la pratique. C'est à l'ingénieur-électricien d'examiner sans parti pris tous les côtés de la question.

» Les avantages du système à courant triphasé peuvent se résumer comme suit :

» 1° Faculté d'employer des moteurs enroulés pour des tensions élevées.

» Cette tension atteint 3 000 volts pour la ligne de Chiavenna-Colico, mais rien n'empêche de dépasser ce chiffre si cela est nécessaire, et dans les essais de Zossen on a été jusqu'à 10 000 volts.

» Des voltages aussi élevés permettent d'espacer considérablement les points d'alimentation de la ligne de prise de courant et diminuent beaucoup pour les grandes puissances, les difficultés de captage de l'énergie électrique, en réduisant les intensités à de faibles valeurs, même pour des puissances très considérables.

» 2° Facilité de transformation de l'énergie électrique du voltage employé pour le transport, au voltage adopté pour la ligne de prise de courant et pour les moteurs.

» Cette transformation s'effectue par des appareils statiques, nécessitant le minimum de surveillance, d'entretien et de dépenses de premier établissement.

» 3° Suppression des collecteurs segmentés sur les moteurs des véhicules.

» Toutefois, ces deux derniers avantages n'ont pas, dans beaucoup de cas, une importance aussi grande que l'on serait porté à le croire; en effet, à partir d'une certaine puissance, les transformateurs nécessitent des moyens de rafraichissement artificiels, ventilation, circulation d'eau; ils doivent, en outre, être protégés par des plombs fusibles. L'ensemble de ces appareils ne peut guère être abandonné complètement sans surveillance et, pour peu qu'on mette du personnel dans les postes où ils sont placés, les économies réalisées sur le système de sous-stations avec convertisseurs sont grandement réduites.

» En second lieu, les moteurs d'induction pour traction doivent démarrer avec insertions de résistances dans le circuit de l'induit, ce qui nécessite l'établissement de bagues, de balais de prise de courant, n'offrant guère moins d'inconvénients que les collecteurs des moteurs à courant continu, au point de perfection qu'ils atteignent actuellement [1]. Le faible avantage que

[1] Les bagues, ne pouvant être court-circuitées une fois le démarrage terminé (comme dans le cas des moteurs fixes), sont constamment traversées par les courants du rotor, d'où résulte une usure des bagues et des balais comparables aux dépenses d'entretien d'un collecteur de moteur à courant continu ; en outre, pour réduire ces intensités de courant à des valeurs modérées, on est conduit à bobiner les rotors pour des tensions aussi élevées que les induits des moteurs à courant continu.

peuvent posséder à ce point de vue les moteurs d'induction est, en grande partie, compensé par la nécessité d'un entrefer sensiblement plus réduit, qui constitue une grave difficulté pour leur adaptation à la traction.

» Comme inconvénients principaux du système à courants triphasés, nous pouvons citer :

» 1° La complication de la ligne de prise de courant, qui doit, pour chaque voie, présenter au moins deux conducteurs à des tensions différentes.

» Cette complication devient très grande aux aiguillages et aux bifurcations, et elle pourrait être une source de graves difficultés et de nombreux accidents dans des installations importantes, surtout en cas d'adoption de vitesses élevées [1].

» L'emploi de rails au niveau du sol, pour la prise de courant, est rendu à peu près impossible, et il ne reste, comme seule solution acceptable, que l'établissement de lignes aériennes. Ce système restreint donc considérablement les combinaisons qui peuvent être envisagées pour amener aux véhicules l'énergie électrique. Enfin, il conduit fatalement, pour les fortes puissances, à l'adoption de tensions élevées qui, à leur tour, restreignent les combinaisons électriques pouvant être pratiquement adoptées pour les connexions des moteurs des véhicules.

» 2° L'invariabilité de la vitesse.

» A proprement parler, en effet, il n'y a qu'une seule vitesse de pleine marche, celle qui correspond au synchronisme, les autres vitesses ne pouvant être réalisées qu'au prix de pertes d'énergie inadmissibles pour une marche prolongée.

» Théoriquement, il est possible, comme l'on sait, d'accoupler en tandem les moteurs d'induction, de manière à réaliser, dans de bonnes conditions de rendement, des vitesses qui soient des fractions de la vitesse de synchronisme. Mais cela n'est plus possible, en pratique, avec des moteurs dont le stator est enroulé pour des tensions élevées, car il en résulterait la nécessité d'admettre les mêmes tensions pour les rotors, pour leurs bagues et leurs balais de prise de courant, et pour les résistances de démarrage.

» Pour réaliser la marche en tandem, il faudrait donc, soit abaisser la tension sur le véhicule au moyen de transformateurs statiques, soit adopter des combinaisons aussi peu normales que celle adoptée sur les voitures de Chiavenna-Colico, dont deux moteurs ne peuvent être utilisés que durant les démarrages ou les marches à demi-vitesse et demeurent complètement inutiles tout le reste du temps et, en particulier, durant la marche à pleine vitesse, pour laquelle il serait précisément le plus intéressant de disposer de la pleine puissance. Cette combinaison singulière semble le plus clair aveu de la difficulté de réalisation pratique de vitesses variées au moyen de moteurs d'induction.

» L'invariabilité de la vitesse enlève toute élasticité à l'exploitation; elle offre donc, de ce chef, des inconvénients très sérieux. Elle n'en présente pas de moindres, au point de vue purement électrique.

» En effet, elle donne lieu à des pertes très importantes durant les démarrages. Le rendement moyen durant ces démarrages est inférieur à 0,50, ce qui veut dire qu'à chaque démarrage, la perte dans les résistances est toujours supérieure au travail utile correspondant à la force vive maxima à imprimer au train.

» En second lieu, la puissance maxima absorbée par chaque train doit forcément être égale au produit de la vitesse *maxima* que ce train doit pouvoir atteindre par l'effort de traction *maximum* qu'il est nécessaire de développer, au point le plus désavantageux du profil.

» Cette puissance maxima est donc, en général, très élevée par rapport à la puissance moyenne, et il en résulte des fluctuations de la puissance à fournir au réseau, encore plus étendues qu'avec tout autre système de traction électrique. Ces fluctuations conduisent à augmenter considérablement la puissance des installations fixes destinées à alimenter le réseau; en outre, elles en rendent le fonctionnement

[1] Les difficultés que nous signalait notre collègue, M. Korda, dans la mise en service des lignes aériennes de la Valteline, ne paraissent pas entièrement supprimées à l'heure actuelle, puisque, d'après les derniers renseignements, en présence des pannes fréquentes des trains électriques, on a été obligé, pour assurer la régularité du trafic, de remettre des trains à vapeur en circulation sur ce réseau et de faire un service mixte (*Note de l'auteur*).

beaucoup moins économique quand la force motrice doit être produite par la vapeur, ou quand elle doit être empruntée à des chutes d'eau dont le débit est limité. Cet inconvénient est d'autant plus grave qu'il n'est pas possible de l'atténuer, comme dans le cas du courant continu, par l'emploi de batteries d'accumulateurs et qu'une circonstance particulière aux moteurs d'induction contribue, au contraire, à l'accentuer davantage.

» 3° Cette circonstance consiste dans le fait qu'à fréquence constante ou sensiblement constante, une baisse de tension aux bornes des moteurs d'induction, loin de les décharger momentanément, donne au contraire lieu à une augmentation proportionnelle du courant absorbé. Il en résulte les conséquences suivantes : quand un train absorbe brusquement une puissance considérable, soit en démarrant, soit en montant une forte rampe, ce brusque et important accroissement de puissance à fournir au réseau entraîne une chute de tension dans la ligne d'alimentation et dans les génératrices qui l'alimentent; cette chute de tension provoque une augmentation correspondante de l'intensité du courant absorbé par tous les autres trains en circulation, augmentation qui produit à son tour le même effet, c'est-à-dire accentue encore la chute de tension.

» Il en résulte une très grande instabilité de la tension et, comme nous l'avons indiqué plus haut, un renforcement considérable des fluctuations du courant à fournir à la ligne.

» L'instabilité de la tension est d'autant plus dommageable que les moteurs d'induction ont, comme l'on sait, un couple maximum limite diminuant comme le carré de la différence de potentiel aux bornes, de telle sorte qu'une chute de tension trop accentuée peut amener l'arrêt complet des moteurs surchargés et, par suite, la mise en court-circuit du réseau.

» Pour éviter ces inconvénients, on est conduit à ne tolérer que de très faibles chutes de tension sur la ligne de prise de courant, c'est-à-dire à rapprocher beaucoup les points d'alimentation de cette ligne [1] et à mettre en service des génératrices de très faible réaction d'induit et de très grande puissance par rapport au travail moyen à effectuer.

» 4° Le facteur de puissance des réseaux de traction à courants triphasés est nécessairement très bas.

» Il y a lieu d'observer, à ce sujet, que le facteur de puissance d'un moteur d'induction donné ne dépend à peu près que des dimensions de son entrefer ; on pourra évidemment l'élever en diminuant cet entrefer, mais on diminue en même temps la sécurité du fonctionnement. Les moteurs de traction, dont la surveillance est moins facile que celle des moteurs fixes, et dont les coussinets sont généralement moins largement établis, doivent, en bonne pratique, avoir un entrefer plutôt plus élevé et, par suite, un facteur de puissance plus bas.

» Ce facteur de puissance à pleine charge, avec un entrefer de 3 mm, qui est loin d'être exagéré, tombe rarement au-dessous de 0,85 à 0,87, correspondant à un courant déwatté d'environ 50 p. 100 du courant watté de pleine charge. Comme, d'autre part, le courant déwatté diminue peu avec la charge et que la puissance moyenne développée par chaque moteur est très inférieure à la pleine puissance, il s'ensuit que le courant déwatté total est très considérable par rapport au courant watté total, et que le facteur de puissance tombe, en moyenne, au-dessous de 60 p. 100.

» Cette circonstance est un nouveau motif d'augmenter encore la puissance des dynamos génératrices ; en outre, elle entraîne une diminution très sensible de leur rendement moyen et de celui des transformateurs statiques.

» Aussi, malgré la suppression des commutatrices, le rendement moyen de l'ensemble du système, c'est-à-dire le rapport entre le travail développé aux jantes des roues et le travail effectif à fournir aux dynamos génératrices, est-il, généralement, plus faible dans le système à courants triphasés que dans le système à courants continus, surtout quand on tient compte des pertes plus grandes aux démarrages.

» D'autre part, la puissance de l'usine génératrice doit être sensiblement plus grande, à égalité de service à effectuer, ce qui compense, en

[1] Il n'est pas sans intérêt de remarquer que, malgré la tension élevée choisie, l'espacement des postes de transformateurs est de 10 à 11 km sur les lignes de la Valteline, alors que l'espacement des sous-stations est en moyenne de 15 à 16 km sur le réseau de Milan-Gallarate.

général, une bonne partie des dépenses supplémentaires entraînées par l'établissement de sous-stations munies de commutatrices [1].

» Des considérations qui précèdent, on peut conclure que les cas dans lesquels l'emploi du système triphasé devra être préféré sont assez rares ; ils se réduisent à peu près à celui où il s'agit de desservir un réseau à faible intensité de trafic, mais très étendu, de telle sorte que le nombre de trains à alimenter au total est assez considérable, quoique ces trains soient très espacés entre eux; la préférence peut, dans ce cas, être accordée au système triphasé, surtout quand les lignes à desservir ne doivent offrir que peu d'arrêts, ne comportent que des vitesses modérées, présentent des profils peu accidentés ou du moins réguliers, et que la force motrice est surabondante et à très bon marché.

» Quand ces diverses conditions ne se trouveront pas réunies, une étude attentive fera presque toujours donner la préférence au système à courant continu, du moins dans l'état actuel de l'industrie électrique.

» Si maintenant nous passons à l'examen critique des inconvénients du système à courant continu, nous trouvons principalement les suivants :

» 1° Il ne se prête pas bien à l'emploi de tensions élevées ; les tensions employées jusqu'à ce jour n'ont guère dépassé 700 volts entre conducteurs et la terre, et il y a, comme vous le savez, de fortes objections à aller plus loin.

» Prochainement va être essayée, sur la ligne de la Mure à Corps, une locomotive de 600 chevaux, prévue pour fonctionner sous 1200 volts avec quatre moteurs de 600 volts, reliés par deux en série, et cet essai ne manquera pas d'être fort intéressant. Toutefois, il ne faut pas se dissimuler que la tension de 1200 volts est une tension intermédiaire, qui ne conduit à aucune solution satisfaisante ; elle est trop élevée pour permettre l'emploi des rails conducteurs an niveau du sol, et elle est trop faible pour permettre une réduction suffisante de l'intensité du courant à emprunter à des conducteurs aériens. Quand on dépasse 700 à 750 volts on est fatalement conduit à monter d'un seul coup beaucoup plus haut et à atteindre quelques milliers de volts pour permettre l'emploi de prises de courant aériennes rationnelles et de conducteurs de sections modérées. Mais ce sont là des tensions dont il est bien difficile d'envisager l'utilisation avec des moteurs à collecteurs ayant un pôle à la terre et devant être établis dans les espaces très restreints qui peuvent être réservés aux moteurs de traction.

» 2° Un autre inconvénient du système à courant continu, tel qu'il est usuellement employé, provient de l'insuffisance de flexibilité de la vitesse. Cette flexibilité est considérablement plus grande qu'avec le système triphasé, puisqu'on dispose de deux vitesses différentes au moyen du couplage série parallèle et qu'en outre on peut, par la variation du champ, obtenir facilement une variation de 20 à 25 p. 100 des vitesses moyennes correspondant à chaque couplage.

» Ces deux moyens permettent déjà de réduire considérablement les pertes aux démarrages, comme il est facile de s'en rendre compte ; par exemple en supposant le couplage maintenu constant durant tout le fonctionnement, une variation du champ de 22 p. 100 suffit pour que 40 p. 100 de la force vive du train puissent être communiqués à plein rendement, le surplus, c'est-à-dire 60 p. 100 de la force vive, devant seuls être communiqués avec un rendement moyen inférieur à 50 p. 100.

» De ce chef, les pertes dans les résistances durant les démarrages sont déjà à peine les deux tiers de ce qu'elles seraient avec le système triphasé. D'ailleurs, la variation du champ dont il est question s'obtient automatiquement avec les moteurs série, et elle n'offre aucun inconvénient au point de vue de l'utilisation de la puissance spécifique de ces moteurs, puisqu'elle consiste à porter momentanément l'induction dans les différentes parties du circuit magnétique à une valeur admissible pendant un court espace de temps, mais qui ne le serait plus pour une marche prolongée.

[1] Il est intéressant de constater que les lignes de la Valteline ont nécessité l'installation d'une usine de 6000 chevaux pour assurer l'alimentation de dix voitures automotrices de 450 chevaux et de deux locomotives de 600 chevaux, consommant environ 9000 kilowatts-heure par jour, tandis que la ligne de Milan-Gallarate, desservie par vingt voitures automotrices de 600 chevaux et une locomotive d'égale puissance, absorbant environ 13 000 à 14 000 kilowatts-heure par jour, n'est alimentée que par une usine de 4 500 chevaux.

La différence est uniquement due à l'écart beaucoup plus grand, dans le premier cas, entre le travail maximum et le travail moyen à fournir au réseau.

» Avec le couplage série parallèle, les pertes sont encore beaucoup diminuées, et il est facile de voir qu'elles s'abaissent, non plus aux deux tiers, mais seulement au tiers de ce qu'elles seraient avec le système à courants triphasés.

» L'avantage est donc très sensible ; néanmoins, il n'en est pas moins désirable de chercher à supprimer entièrement ces pertes : il est nécessaire, pour cela, de réaliser un système dans lequel toutes les vitesses puissent être obtenues à volonté, depuis la vitesse nulle jusqu'à la pleine vitesse, en proportionnant la puissance absorbée par le train à la vitesse qu'il possède et à son effort de traction.

» Ce desideratum a de l'intérêt, non pas tant à cause de l'économie d'énergie qui en résulterait (au fond, comme nous l'avons vu, cette économie serait peu de chose et ne constituerait pas un bénéfice bien séduisant), mais surtout à cause de la très sensible régularisation qui en résulterait pour les variations de la charge à l'usine génératrice et aux sous-stations et aussi de la grande élasticité que procurerait à l'exploitation la faculté de pouvoir modifier à volonté la puissance absorbée par chaque train et la vitesse de marche de ce dernier en régime prolongé.

» On constate, chez la plupart des ingénieurs de chemins de fer, une grande préoccupation de réaliser complètement ce desideratum, et il est certain que, dans la plupart des cas, l'importance attachée par eux à cette question n'est pas exagérée.

» Diverses solutions ont été proposées pour résoudre ce problème. On peut citer notamment celle qui a été adoptée par M. Mazen, ingénieur de la Compagnie de l'Ouest, pour la locomotive de la ligne d'essai de Saint-Germain, consistant dans l'emploi d'un moteur générateur, alimenté à tension constante par la ligne de prise de courant, et pouvant fournir aux moteurs une tension variant par degrés depuis zéro jusqu'au maximum.

» Cette solution contenait un principe intéressant et original à l'époque où elle a été imaginée par M. Mazen ; mais comme elle conduit à l'installation, sur la locomotive, d'un matériel de transformation de puissance double de celle des moteurs de traction, elle ne peut, évidemment, convenir que dans des cas très restreints.

» Une variante de cette solution a été proposée, consistant à remplacer le groupe moteur-générateur par un survolteur-dévolteur, ce qui permet de réduire de moitié la puissance de l'appareil de réglage.

» En combinant ce système de réglage avec le groupement série-parallèle des moteurs, la puissance du groupe survolteur-dévolteur pourrait encore être réduite de près de 30 p. 100.

» Dans le même ordre d'idées, une solution fort ingénieuse et très intéressante a été imaginée par M. Auvert, chef des services électriques de la Compagnie P.-L.-M. Elle consiste dans l'établissement, sur la locomotive, non plus d'un groupe moteur-générateur, mais d'une dynamo unique ou d'un groupe unique de dynamos dont les connexions sont disposées de telle sorte qu'il est possible de faire varier le voltage aux bornes des moteurs depuis zéro jusqu'au maximum avec une dynamo ou un groupe de dynamos dont la puissance maxima n'est que la moitié de la puissance maxima absorbée par l'ensemble des moteurs à desservir, et dont l'encombrement, le poids et le prix se trouvent, par suite, ramenés à une valeur très admissible.

» Ce système va être bientôt essayé par la Compagnie française Thomson-Houston à un train de la Compagnie du Métropolitain de Paris, et les résultats qu'il donnera seront fort intéressants à suivre.

» Grâce à ces divers dispositifs, il est possible d'obtenir, avec le système à courant continu, une élasticité de vitesse pour ainsi dire parfaite, une suppression complète des pertes aux démarrages et une atténuation très marquée des fluctuations de la charge.

» Je dois ajouter, en terminant, qu'à l'heure actuelle les systèmes à courant continu et à courants triphasés ne sont plus seuls en présence. L'emploi du courant alternatif monophasé commence à être très sérieusement envisagé et rencontre beaucoup de partisans convaincus qui prétendent y trouver la meilleure solution pour la transformation électrique des lignes de chemin de fer.

» Cet emploi a été proposé sous différentes formes. Je citerai tout d'abord le système Huber, préconisé par la Compagnie Oerlikon, et consistant dans l'emploi, sur la locomotive, d'un groupe moteur-générateur constitué par un moteur à courants alternatifs monophasés et une dynamo à courants continus d'une puissance

suffisante pour pouvoir alimenter tous les moteurs du train. Ce système est donc mixte, puisque tout l'équipement moteur reste à courant continu et que seule la distribution de l'énergie et son entrée dans le train se font sous forme de courant alternatif à haute tension.

» Je n'en discuterai pas les avantages et les inconvénients, ils sautent à tous les yeux et il paraît superflu d'en faire une bien longue critique.

» On peut, en second lieu, citer l'application très intéressante faite par la Compagnie Westinghouse, en Amérique, dans un ordre d'idées entièrement différent, sur la ligne de Washington à Annapolis, et dont il a été donné des descriptions détaillées dans un grand nombre de revues techniques.

» Le système employé par la *Compagnie Westinghouse* consiste dans l'emploi de moteurs à collecteurs, enroulés en série et alimentés par courants alternatifs monophasés. Il offre indiscutablement à la traction électrique un champ entièrement nouveau, sinon théoriquement, du moins comme réalisation pratique et les essais auxquels il donnera lieu seront du plus haut intérêt.

» Toutefois, ce système me paraît offrir un certain nombre d'inconvénients qui font compensation aux avantages qu'il présente d'autre part :

» 1° La tension d'alimentation des moteurs doit rester forcément très réduite, comme dans le cas du courant continu, puisqu'elle est développée aux bornes des collecteurs ; elle doit même, pour assurer le bon fonctionnement de ceux-ci, être plutôt inférieure aux valeurs adoptées pour les moteurs à courant continu.

» 2° La fréquence doit être très faible. Elle est de 16 périodes sur la ligne en question de Washington à Annapolis.

» Il en résulte que les transformateurs d'alimentation de la ligne doivent posséder des dimensions très considérables pour leur puissance, et ont un rendement sensiblement moindre que des transformateurs à fréquence normale. En outre, ces très basses fréquences n'ont aucune utilisation industrielle en dehors de la traction électrique, de telle sorte que les usines génératrices affectées à ce service ne peuvent guère servir à d'autres usages et qu'il n'est pas possible d'utiliser des usines génératrices à fréquence normale déjà installées.

» Enfin, il faut tenir compte de ce que le poids, l'encombrement et le prix des moteurs série à courant alternatif, sont sensiblement supérieurs à ceux des moteurs à courant continu de même puissance.

» La grande Compagnie d'électricité américaine, concurrente de la *Compagnie Westinghouse*, la *General Electric Company*, étudie en ce moment un système de traction à courants alternatifs monophasés, basé sur des principes différents, et dont les premiers essais, d'après les renseignements fournis par elle, permettraient déjà d'espérer la réalisation des avantages suivants :

» 1° Faculté d'alimenter sans inconvénient les moteurs à très haute tension (3 000 volts et au-dessus), la tension d'alimentation n'étant appliquée qu'aux parties fixes du moteur, disposées comme celles d'un moteur d'induction ordinaire ;

» 2° Réglage de la vitesse et des efforts de traction depuis zéro jusqu'au maximum, sans aucune perte dans des résistances, et en agissant uniquement sur les circuits à basse tension ;

» 3° Fonctionnement parfait du collecteur, qui n'a à supporter que des tensions très modérées ;

» 4° Facteur de puissance très voisin de l'unité dans toutes les conditions de charge ;

» 5° Faculté d'utiliser toutes les fréquences usuelles de 25 à 50 cycles et même au-dessus.

» Les rendements seraient à peu près équivalents à ceux des moteurs à courants continus de même puissance, et les poids spécifiques seraient peu supérieurs, à égalité de puissance et d'efforts de traction à développer.

» Les études et les essais de ce système sont très activement poussés, et, si les avantages indiqués ci-dessus sont entièrement réalisés, l'industrie électrique sera bientôt dotée, de ce chef, d'un système qui se présentera comme le plus redoutable concurrent du système à courant continu, aussi bien pour la traction des chemins de fer que pour les lignes de tramways urbaines et interurbaines. »

Discussion. — « Je n'ai pas l'intention, dit M. Boucherot, de prendre d'une façon générale la défense des systèmes de traction à courants polyphasés, mais je voudrais présenter une observation en ce qui concerne les variations brusques de charge et leur influence sur la station centrale et les trains en marche.

» M. de Marchena nous a dit, si je ne me trompe, que, le démarrage d'un train à courant continu déterminant une baisse de tension générale, il en résulte une diminution du courant absorbé par tous les trains en vitesse, c'est-à-dire une compensation partielle de l'augmentation de charge provoquée à la centrale par le démarrage, et qu'au contraire avec les moteurs triphasés la baisse de tension occasionne une augmentation du courant absorbé par les trains en vitesse, ce qui accroît l'augmentation de charge provoquée à la centrale par le démarrage.

» Ceci serait vrai si la fréquence restait constante; mais le moteur, quel qu'il soit, turbine ou machine à vapeur, actionnant les génératrices, diminue de vitesse quand la charge augmente; la vitesse des génératrices et la fréquence du réseau diminuent; le glissement diminuant dans les moteurs des trains en marche, la puissance absorbée diminue.

» En résumé, je crois que si l'on tient compte de ce que les moteurs ordinaires triphasés donnent toute leur puissance pour un glissement de 2 p. 100, de ce que l'on peut faire l'écart de réglage du ou des moteurs de la centrale du même ordre de grandeur que les chutes de tension en ligne dans le cas du continu et de ce que l'on peut, par contre, en alternatif, réduire considérablement les chutes de tension en ligne par l'emploi de 3 000 volts au lieu de 500 volts, je crois, dis-je, qu'il est possible d'obtenir, dans le cas de l'alternatif, la même compensation partielle de l'augmentation de charge lors du démarrage d'une unité. »

M. de Marchena, répond :

« Les variations de la fréquence, dans un réseau bien établi, sont d'un ordre de grandeur bien inférieur aux variations de tension qui peuvent se produire sur l'ensemble du réseau et surtout sur une partie localisée de ce réseau, il en est de même de l'ordre de grandeur comparatif des forces vives qui peuvent être mises en jeu dans le système à courants triphasés par une variation de la fréquence et, dans le système à courants continus, par une variation de la tension résultant des mêmes variations de la charge.

» Par exemple, une surcharge correspondant à une variation de 25 p. 100 de la charge totale de l'usine, qui donnera lieu à une variation de la vitesse de régime de 1 à 1,5 p. 100, pourra aisément produire une variation de tension de 12 à 15 p. 100 sur une partie étendue du réseau. L'effet de décharge dû à la diminution de la fréquence disparaîtra aussitôt que les autres trains alimentés auront perdu 2 à 3 p. 100 de leur force vive, c'est-à-dire presque aussitôt, et ces trains absorberont ensuite les intensités de courant *majorées*, tandis que, dans le cas du courant continu, ce ne serait qu'après avoir perdu de 22 à 25 p. 100 de leur force vive, que les autres trains alimentés par la partie du réseau où la chute de voltage s'est produite, reprendront leur consommation de courant *initiale*.

» En réalité, comme les variations de la charge et, *a fortiori*, celles de la fréquence ne sont jamais brusques, l'effet de décharge dû à la diminution de la fréquence est complètement masqué et disparaît devant l'accroissement du courant dû à la chute de tension. »

M. Korda ajoute :

« En l'absence d'un représentant de la Société Ganz, je voudrais répondre quelques mots aux critiques de M. de Marchena.

» Tout d'abord en ce qui concerne l'allégation souvent répétée depuis quelques mois, que la ligne aérienne triphasée de la Valteline donnerait encore lieu à des ennuis, la Société Ganz déclare que, depuis l'inauguration du tronçon principal de Lecco à Chiavenna, c'est-à-dire depuis le mois d'octobre, aucune interruption n'y a eu lieu et aucune locomotive à vapeur n'y a reparu.

» Il est évident que deux fils aériens constituent un système plus compliqué qu'un fil unique, mais il faut tenir compte également des avantages de la traction polyphasée et examiner si ces avantages, dans bien des cas, ne compensent pas, et au delà, l'inconvénient signalé. Or, le grand avantage de ce mode de traction réside dans l'économie sérieuse des frais de premier établissement. Dès qu'il s'agit d'une ligne de plus de 100 km de longueur, cette économie s'accentue singulièrement. Pour plusieurs centaines de kilomètres, il faudrait, dans le système à courant continu sous 500 volts, un tel nombre de sous-stations de commutatrices, que la traction polyphasée amène facilement une économie de 30 p. 100 et même de 40 p. 100 dans les frais de premier établissement par rapport à ce système.

» L'adjonction d'un sous-moteur pour la petite vitesse ne constitue pas non plus une augmentation pure et simple du poids mort. En effet, les deux moteurs principaux de 150 chevaux chacun peuvent développer ensemble 300 chevaux en pleine vitesse. Pour la marche en cascade, c'est-à-dire à demi-vitesse, ces moteurs, de même que les sous-moteurs développent 75 chevaux chacun, soit encore 300 chevaux pour les quatre travaillant ensemble. On réalise ainsi le plein travail aussi bien en grande vitesse qu'à demi-vitesse, ce qui constitue la solution d'un problème intéressant, même sans parler du rôle que le sous-moteur joue par rapport au moteur principal. Tout n'est donc pas de poids mort dans ce système. »

Dans une note adressée à la Société, M. Boucherot revient sur le sujet :

« Laissons d'abord de côté, dit-il, les combinaisons ou cas singuliers pour nous limiter aux applications habituelles. Admettre une chute de tension de 15 p. 100 pour une variation de charge de 25 p. 100, c'est admettre un cas singulier. En effet, ou bien il s'agit d'une partie localisée du réseau établie seulement pour le quart de la puissance et, dans ce cas, la baisse de tension de 15 p. 100 ne se produira pas aux bornes des moteurs du réseau principal et l'on ne bénéficiera pas de la compensation en question ; ou bien il s'agit du réseau principal et la chute de tension est exagérée et serait la condamnation même du système adopté.

» Afin de ne pas paraître exagérer moi-même dans un sens ou dans l'autre, je supprime les chiffres et je suppose un réseau à courant continu dans lequel la chute de tension moyenne soit de *n* p. 100 à pleine charge. Cela veut dire que l'on admet que la vitesse des trains pourra descendre à une valeur inférieure de *n* p. 100 à la vitesse maxima. Je puis admettre le même taux de réduction de vitesse pour des trains alimentés par un réseau triphasé, c'est-à-dire que je pourrai admettre aux moteurs de la centrale un écart de réglage de *n* p. 100. La force vive libérée sera donc la même dans les deux cas pour une même variation de charge, avec cette différence que, dans le cas du continu, les *n* p. 100 perdus en ligne entraînent une perte d'énergie de *n* p. 100, tandis que, dans le cas de l'alternatif, la diminution de fréquence de *n* p. 100 ne correspond pas à une perte d'énergie.

» Mais, me dira-t-on, vous aurez aussi une perte d'énergie dans la ligne triphasée. C'est vrai, mais comme la tension employée peut être très supérieure à celle employée en continu, à égalité de dépense de cuivre en ligne, cette perte d'énergie sera très inférieure à *n* p. 100, le dixième peut-être. En y ajoutant le petit excédent de courant nécessité par les moteurs par suite de cette baisse de voltage de *n* p. 1000, nous serons encore loin des *n* p. 100 d'énergie perdus dans le cas du continu et que la centrale doit produire.

» Nous avons d'ailleurs encore la ressource de maintenir, aux bornes des moteurs, la tension proportionnelle à la fréquence, en surcompoundant les génératrices triphasées de manière que leur tension baisse moins que leur fréquence quand la vitesse diminue.

» Ces deux conditions remplies, les variations de vitesse des trains en marche, les variations de voltage aux bornes des moteurs, les variations d'intensité à la centrale seront les mêmes dans les deux systèmes, et, je le répète, avec une économie de 0,9 *n* p. 100 dans le cas du triphasé et l'avantage d'obtenir la compensation en question même pour le démarrage des trains placés sur des tronçons isolés ne comportant qu'une ou deux unités.

» Je ne prétends nullement que ces deux conditions soient remplies dans l'installation de la Valteline dans laquelle on semble avoir eu d'autres préoccupations, et il n'est pas douteux que, dans la comparaison entre cette installation et celle de Milan-Gallarate, M. de Marchena ait pleinement raison, mais, en thèse générale, et mon observation n'a été faite que dans ce but, il pourrait en être autrement.

» On m'objectera encore que je suis conduit ainsi à admettre un écart de réglage aux moteurs de la centrale très supérieur à ceux que l'on admet ordinairement. En quoi cela gêne-t-il? Aux problèmes nouveaux, il faut des solutions nouvelles, et un grand écart de réglage n'est même pas une chose nouvelle : à la centrale du chemin de fer du Fayet à Chamonix, les turbines n'ont pas de régulateur; l'écart de réglage, si l'on peut employer cette expression, là où il n'y a pas de régulateur, est de 20 à 25 p. 100. Ce n'est pas pour que la fréquence varie avec la charge que l'on a fait ainsi, puisque l'installation est à courant continu, c'est sim-

plement pour supprimer les régulateurs. Il suffirait de faire de même. »

DIVERS

Sur la séparation cathodique du plomb, par **K. Elbs** et **F. W. Rixon**. *Zeitschrift f. Elektrochemie,* t. X, p. 267, 2 avril 1903.

Par l'électrolyse des sels de plomb, on peut déposer à la cathode le plomb sous deux formes différentes : soit en feuilles brillantes, sous la forme de gros cristaux, soit en aiguilles mates sous la forme spongieuse ou microcristalline.

En prenant l'acide phosphoreux comme électrolyte et du plomb poli comme électrodes, on constate les phénomènes suivants : Avec une faible densité de courant, l'anode entre en solution et sa surface reste polie, pendant qu'à la cathode, il se dépose des cristaux feuilletés de plomb. En augmentant la densité de courant, on élève la tension de polarisation qui, de quelques centièmes de volt atteint rapidement 1,9 volt. En même temps l'anode se recouvre d'une couche gris sombre et la séparation du plomb à la cathode se fait sous la forme spongieuse. De plus on constate que l'électrolyte renferme du sel plombique, par l'action oxydante sur l'iodure de potassium.

Les auteurs ont observé une dépendance entre l'état du plomb déposé à la cathode et la teneur de l'électrolyte en sel plombique. Un électrolyte qui donne à la cathode un dépôt de plomb cristallin, livre celui-ci sous la forme spongieuse aussitôt qu'il renferme du sel plombique.

Si par exemple, on prend une anode de platine dans un vase poreux renfermant de l'acide chlorhydrique, et une cathode en plomb dans de l'acide chlorhydrique saturé de chlorure de plomb, l'électrolyse dépose le plomb sous la forme cristalline à la cathode. En enlevant ensuite le vase poreux et en remplaçant l'anode de platine par une anode en plomb, il se forme du tétrachlorure de plomb et le dépôt de plomb à la cathode affecte la forme spongieuse.

L'acide hypophosphoreux, qui forme un sel plombique, donne du plomb spongieux par électrolyse entre électrodes de plomb.

Les auteurs admettent que, dans l'accumulateur, le plomb de la cathode affecte la forme spongieuse parce que l'acide de l'élément renferme toujours du sulfate plombique. Une série d'essais sur un élément d'une capacité de 1200 ampères-heure leur a donné les résultats suivants :

	Vers la fin de la charge.	Pendant la décharge.	A l'état de repos.
Teneur en $Pb(SO^4)^2$ en grammes par litre dans l'acide de l'accumulateur. . . .	0,14	0,07	0,17

les dosages étant effectués à l'aide de l'iodure de potassium et l'empois d'amidon.

Les échantillons étaient prélevés entre les plaques et au milieu.

L'état d'équilibre représenté par l'équation



$$Pb(SO^4)^2 + 2H^2O \rightleftarrows PbO^2 + 2H^2SO^4$$

est atteint dans tous les cas lorsqu'on laisse en contact pendant cinq heures du peroxyde de plomb fraîchement préparé avec l'acide sulfurique. Voici, par exemple, quelques teneurs obtenues

	Densité de l'acide sulfurique.	Température 20° C.	Température 55° C.
Teneur en $Pb(SO^4)^2$ en grammes par litre d'acide.	1,070	0,42	0,35
	1,140	0,60	0,73

Pour expliquer ces variations de teneurs, il faut tenir compte de cette circonstance que la solution est en contact d'une part avec le peroxyde et d'autre part avec le plomb spongieux.

La teneur en bisulfate moindre à la fin de la charge que pendant le repos, s'explique par ce fait que le dégagement gazeux produit pendant la charge amène rapidement le sulfate plombique en contact avec la plaque négative qui le réduit.

La présence du bisulfate de plomb dans l'acide de l'accumulateur expliquerait les actions locales même lorsqu'on part de produits purs. L'accélération de ces actions locales par élévation de la température et par les secousses se comprendraient par l'augmentation résultante de la diffusion qui favoriserait ainsi la réduction du sulfate plombique par le plomb spongieux de la négative.

L. J.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 23 Mai 1903. 10ᵉ Année. — Nº 21

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

L'INSTITUT ÉLECTROTECHNIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE

Placée au centre de la région de France où les applications industrielles de l'électricité sont les plus développées, la ville de Grenoble, sur laquelle le récent congrès de la Houille Blanche a appelé l'attention du monde industriel, possède un Institut Électrotechnique qui, sans constituer un modèle du genre, doit néanmoins satisfaire à des besoins si divers qu'il n'est peut-être pas sans intérêt pour les lecteurs de *L'Éclairage Électrique* d'en posséder une courte description.

La création de l'Institut Électrotechnique, rattaché à l'Université de Grenoble, n'est que la conséquence logique du succès retentissant qu'obtint le *Cours Municipal* d'Electricité Industrielle, le premier en France de ce genre, professé d'abord par M. Janet, aujourd'hui professeur à l'Université de Paris et directeur de l'Ecole supérieure d'Electricité, ensuite par M. Pionchon, professeur à l'Universié de Grenoble, et actuellement directeur de cet Institut.

Grâce à de généreux subsides, en particulier de la ville de Grenoble, grâce aussi à une initiative financière heureuse prise par l'Université Dauphinoise, la création d'un Institut Electrotechnique indépendant et son installation dans un bâtiment spécial furent décidées et mises à exécution. L'Institut fonctionna régulièrement à partir du 1ᵉʳ novembre 1900, et fut inauguré officiellement le 11 mars 1901, sous la présidence de M. Liard, alors directeur de l'Enseignement supérieur, dont le nom restera indissolublement lié au grand œuvre de la création des Universités et du développement du haut enseignement technique.

Cet établissement devait être à la fois, dans la pensée de ses créateurs (et on verra qu'il a déjà rempli une bonne partie de son programme), une école supérieure d'enseignement

technique, un bureau de contrôle et d'essai des installations électriques régionales, enfin un centre de recherches.

Examinons successivement comment l'Institut de Grenoble a pu assumer chacun de ces trois rôles, dont les deux premiers constituent réellement une originale tentative d'adaptation des ressources d'une Université, aux besoins locaux les plus immédiats et sont à ce titre des plus intéressants.

Comme école Électrotechnique supérieure, l'Institut de Grenoble, en deux ou trois ans, s'est créé une réputation de sérieux incontestable. Elle est due au souci qu'ont le corps enseignant et le jury d'examen à la sortie de ne délivrer le diplôme d'Ingénieur Electricien I E G (Institut Electrotechnique de Grenoble) qu'à ceux des élèves sortants qui lui ont semblé au cours de leurs études absolument à la hauteur de leur tâche.

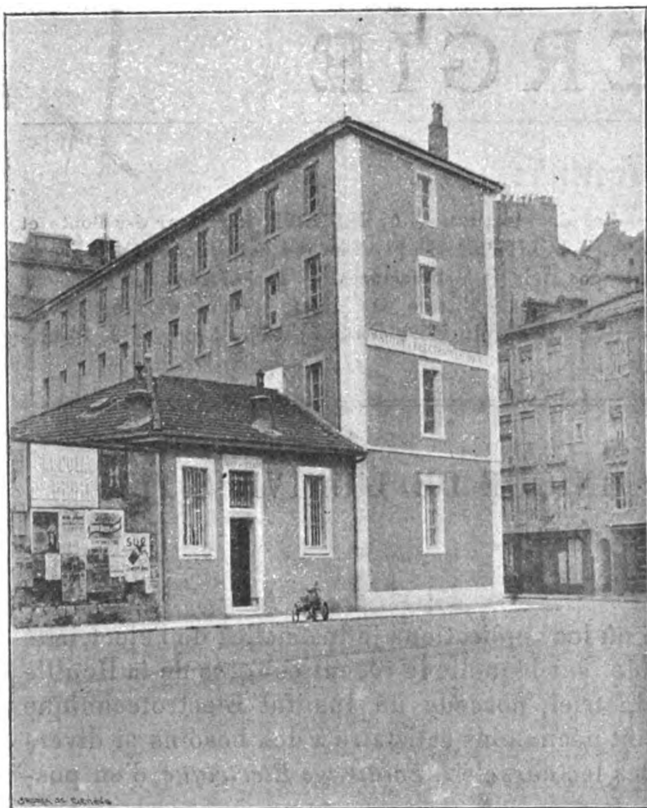


Fig. 1. — Vue extérieure de l'Institut Electrotechnique (façade sur la rue Général Marchand).

Celle-ci est simplement écrasante, si l'on veut bien prêter attention au programme des études ci-dessous résumé.

L'Institut reçoit ses élèves en majeure partie des lycées, à leur sortie de la classe de mathématiques supérieures. Deux ans après, ces jeunes gens doivent être pourvus de toutes les connaissances pratiques utiles concernant la conception, la création et l'exploitation de toute installation électrique ou hydro-électrique Pour arriver à ce résultat, encore plus considérable au point de vue du développement et de la maturité qu'ont dû acquérir ces jeunes esprits que par la somme de connaissances acquises, des cours nombreux et variés sont nécessaires.

L'électrotechnique, la mécanique et la physique industrielles, l'hydraulique appliquée, la résistance des matériaux, les mathématiques et la chimie appliquées, dans ce qu'elles ont d'essentiel, constituent la base de l'enseignement, que viennent enrichir des cours libres professés sur les questions à l'ordre du jour par des spécialistes de la région. Des exercices pratiques, auxquels est attachée, dans l'esprit des créateurs de l'Institut, une importance capitale, portent sur les mesures électriques et mécaniques, sur les essais de machines, la chimie analytique et l'électrochimie. Chaque semaine les élèves ont à effectuer un travail écrit (projet, plan, devis, étude d'installation) et à fournir un dessin industriel après relèvement sur croquis coté des organes à représenter.

Ils doivent enfin résumer sous forme de feuilles d'essai ou compte rendu bi-hebdomadaire les résultats qu'ils ont obtenus dans leurs manipulations. Si l'on ajoute à cela les travaux d'atelier, consacrés à la construction, à la réparation et à la pose ou mise en œuvre du matériel électrique courant, les visites d'usines, et les stages dans celles-ci, stages qui

vont prendre cette année une importance exceptionnelle, le lecteur conviendra que le temps est bien utilisé à l'Institut de Grenoble et que l'élève y doit faire preuve de remarquables qualités d'assimilation et de puissance de travail. Ainsi compris, l'enseignement réalise un vœu cher à beaucoup de bons esprits, et dont M. Hanotaux, dans une récente campagne de presse, s'est fait, en particulier, l'éloquent interprète : l'étudiant jeune, les études courtes, le savoir pratique et immédiatement utilisable.

D'aucuns trouveront peut-être qu'un programme de connaissances aussi variées doit plutôt être considéré comme le fruit d'une certaine incoordination dans l'enseignement donné à l'Institut. En réalité, cet enseignement est imposé par les circonstances mêmes. Les élèves de l'Institut, dont le placement est surtout régional, doivent en effet satisfaire à des exigences multiples. Si les installations électriques dans la région sont très nombreuses et très importantes, elles ne nécessitent qu'un personnel très réduit. Pour les anciens élèves de l'Institut, rien de comparable au stage de début dans un secteur parisien, ou dans une importante usine à vapeur de traction. Ces jeunes gens doivent être immédiatement utilisables et de bien des façons : ce sont des Maître Jacques, des hommes de premier secours. Ils doivent se pénétrer de cette idée qu'ils seront souvent seuls, même à leurs débuts, et qu'ils ne pourront compter que sur eux-mêmes. Refaire un boulon qui vient de sauter, établir un avant-projet de ligne électrique, modifier les enroulements d'une dynamo, dresser le devis d'un terrassement, d'un canal d'amenée, analyser une matière première ou fabriquée, se transformer provisoirement en comptable ou en dessinateur, tels sont, entre beaucoup d'autres, quelques-unes des épreuves qui attendent les anciens élèves de l'Institut dans le début de leur carrière industrielle.

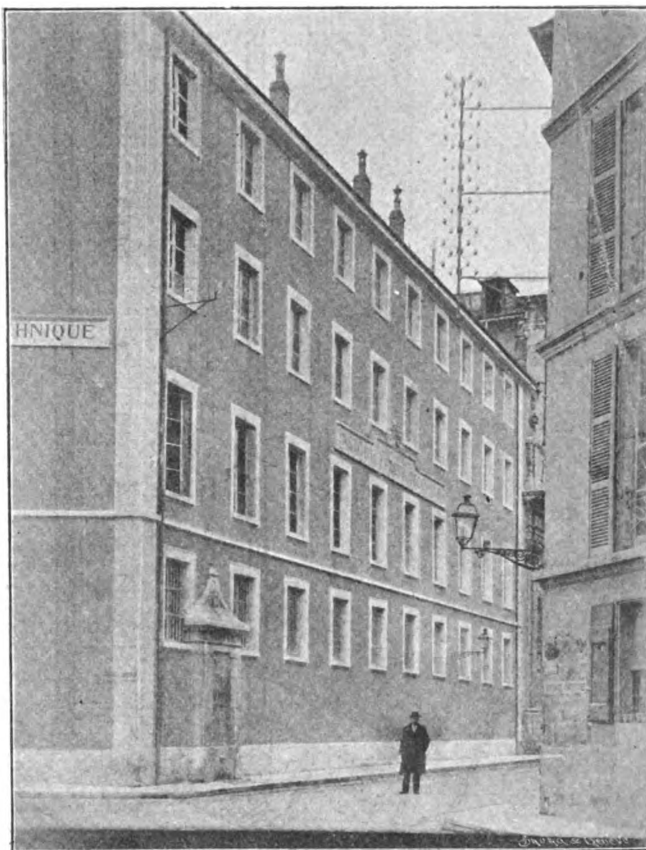


Fig. 2. — Vue extérieure de l'Institut Electrotechnique (façade sur la rue du Lycée).

Les services rendus par ces jeunes gens dans les usines locales invitèrent un certain nombre d'industriels à demander à l'Institut de lui constituer, en dehors de ce personnel supérieur, une pépinière de conducteurs et de monteurs électriciens, pourvus d'une bonne instruction électrotechnique élémentaire, mais d'un degré naturellement beaucoup moins élevé. L'Institut possède donc actuellement :

1° Une section supérieure pour laquelle la durée des études est de deux ans, et décernant à leur sortie aux élèves méritants soit un diplôme d'ingénieur électricien, quand la moyenne de leurs notes dépasse un certain maximum, soit un simple certificat d'études

électrotechniques, si la moyenne de leurs notes est comprise entre un maximum et un minimum fixé à l'avance.

2° Une section élémentaire, avec une durée d'études d'une année, sanctionnée, s'il y a lieu par le diplôme de conducteur électricien.

Le rôle de l'Institut de Grenoble comme bureau d'essai et de contrôle n'est pas moins intéressant. Bien que tout récent, ce nouveau service a rapidement acquis une extrême

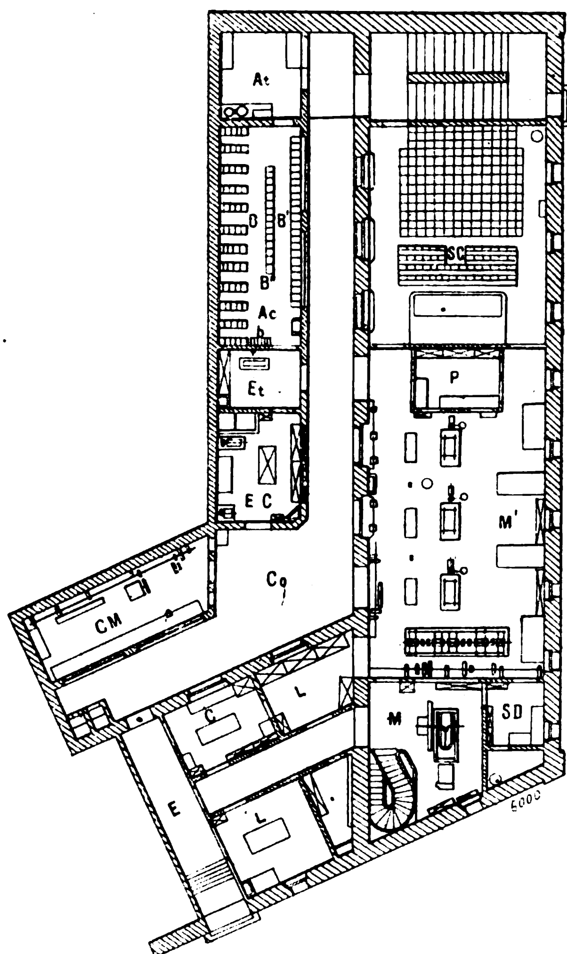


Fig. 3. — Plan du rez-de-chaussée de l'Institut Electrotechnique.

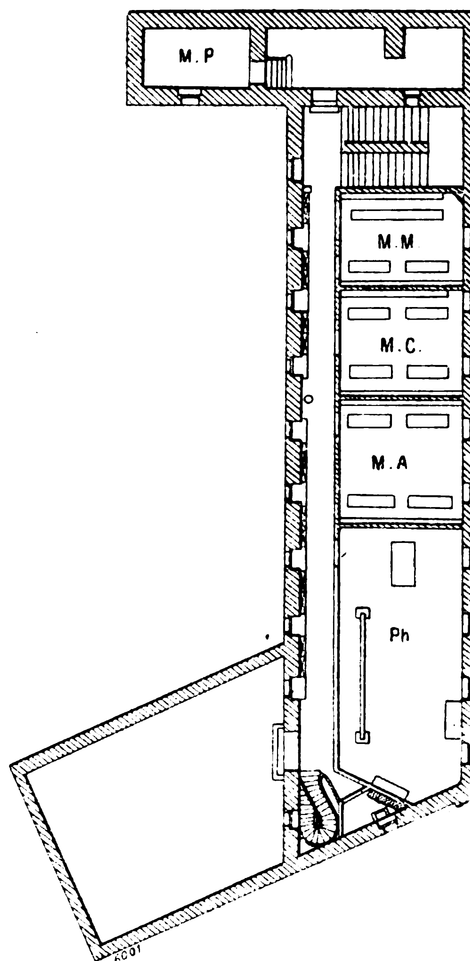


Fig. 4. — Plan du premier étage de l'Institut Electrotechnique.

importance. L'utilité d'un tel établissement n'est plus à démontrer dans une grande ville comme Paris, Lyon, etc. Elle est au moins aussi grande pour la région dauphinoise et savoisienne. En effet, en dehors des essais et étalonnages courants (compteurs, lampes, ampèremètres, voltmètres, etc.), qui, plus ou moins nombreux, sont les mêmes partout, l'Institut est très souvent appelé à départager les Sociétés de transmission d'énergie, qui sont très nombreuses, et leurs clients les industriels, qui ont laissé reposer leurs anciennes machines à vapeur pour louer aux dites Sociétés des chevaux électriques de 12 heures ou de 24 heures.

Un essai de consommation aux bornes du moteur, fonctionnant en service normal,

permet seul d'établir avec certitude la plus ou moins grande conformité de la réalité avec les conditions de la police : cette opération ne peut, bien entendu, être effectuée utilement que par un tiers impartial.

Si l'on réfléchit à ce fait que la puissance de ces moteurs monte parfois à 250 chevaux, que leur tension aux bornes atteint souvent 2 000 volts entre fils, on concevra aisément quelle importance est appelé à prendre ce service d'essais.

En vue de créer un contrôle permanent des installations électriques, l'Institut a créé un service d'abonnement permettant, dans des conditions très avantageuses, aux industriels abonnés de faire procéder à la visite et à la vérification périodiques de leurs réseaux et de leurs machines.

Le service des essais de l'Institut recevra incessamment un accroissement considérable dès que seront terminés les travaux d'adduction à Grenoble d'une puissance de 2 000 chevaux, empruntée aux usines de la Société Electrochimique de la Romanche, et destinée à assurer tant l'éclairage public que l'éclairage privé et l'alimentation des moteurs industriels. L'Institut Electrotechnique sera en effet chargé du service des essais et vérifications de toute nature entraînés par l'exploitation, par la ville de Grenoble elle-même, de son réseau de distribution.

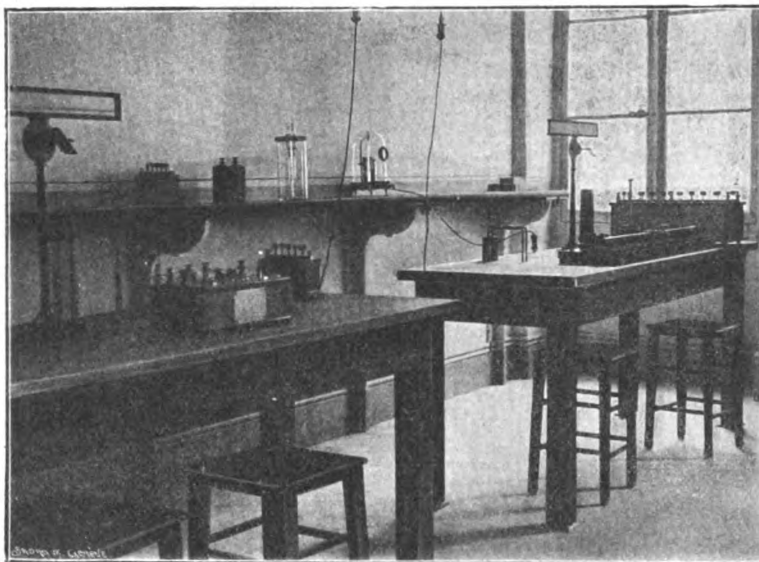


Fig. 5. — Vue d'une salle de mesures électriques.

Nous n'insisterons pas sur le rôle de l'Institut Electrotechnique de Grenoble en tant que centre de recherches ayant pour but de faire progresser la science de l'électrotechnique. Là ne consiste pas son originalité, du moins provisoirement. Elle réside bien plutôt dans la forme spéciale qu'y revêt l'enseignement de l'électricité appliquée, aussi écarté d'une vulgarisation sans valeur scientifique que des développements exclusivement théoriques qui ne constituent pour l'ingénieur électricien qu'un hors-d'œuvre, souvent du reste très agréable.

Cette tendance utilitaire et simpliste s'affirme dans des publications fort goûtées du monde des électriciens, publications dont l'Institut est l'âme et qui reflètent fidèlement ce caractère particulier de l'enseignement. A citer dans cet ordre d'idées une collection d'opuscules dite Bibliothèque de l'Elève ingénieur, encore à son début, et résumant sous une forme rigoureuse, quoique élémentaire, toutes les notions utiles à l'ingénieur digne de ce nom. Y sont compris la comptabilité et l'économie industrielles, dont l'importance ne se discute plus en tant que matière d'enseignement dans une école technique.

La faveur avec laquelle fut accueillie l'idée d'une telle publication montre bien qu'elle correspondait à une lacune réelle dans l'enseignement.

Le problème ainsi posé, il ne sera sans doute pas sans intérêt d'examiner rapidement comment l'Institut Electrotechnique de Grenoble en a conçu la solution.

L'Institut installé dans un bâtiment spécial, 1, rue Général-Marchand, comporte un rez-de-chaussée et trois étages. Le second et le troisième sont plus particulièrement affectés aux services de la Physique générale et du P. C. N. (certificat d'Etudes Physiques, Chimiques et Naturelles) (fig. 1, 2, 3, 4 et 5).

Au rez-de-chaussée (600 m²), on remarque un petit bâtiment d'entrée E renfermant le cabinet C du Directeur de l'Institut, une cour Co, une salle d'accumulateurs Ac, un laboratoire d'électrochimie EC, une salle d'étalonnages Et, une salle de cours SC, une salle de machines MM', une loge vitrée P réservée aux préparateurs et destinée à certains essais,

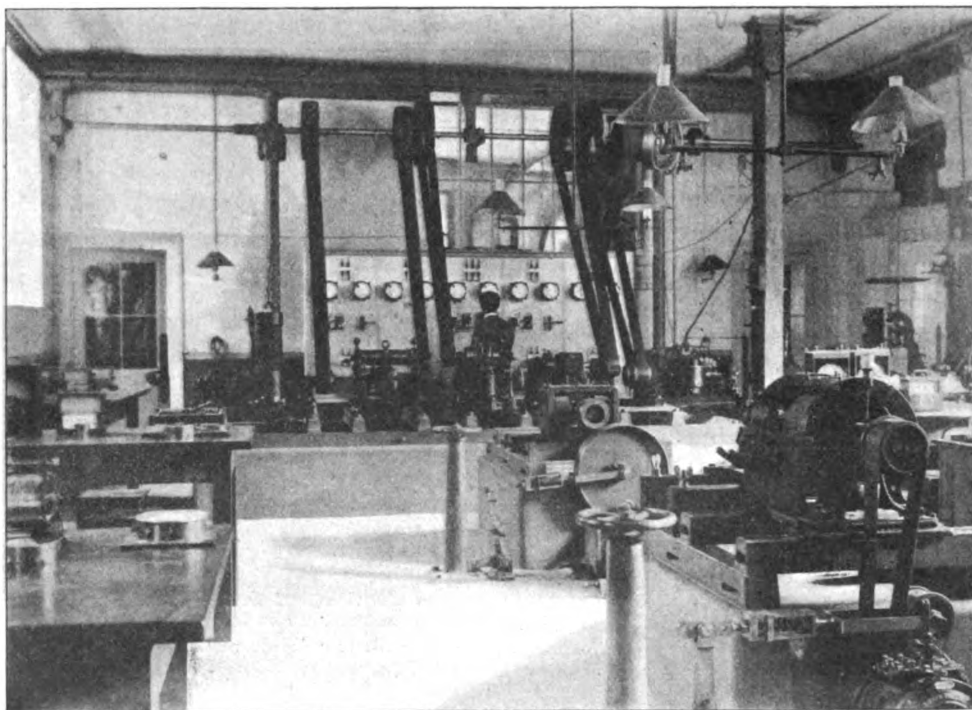


Fig. 6. — Vue de la salle des travaux pratiques.

un atelier MC pour le chef mécanicien, un cabinet pour le sous-directeur SD, enfin deux laboratoires de recherches LL. Au premier étage (250 m²), sont aménagés une salle de mesures de précision MP, une salle de mesures magnétiques usuelles MM, une salle de mesures pour courants alternatifs MA, une salle de photométrie Ph, et une salle de dessin D.

Comme source d'énergie, l'Institut possède un moteur à gaz Otto de 15 chevaux utiles, actionnant par une transmission unique 5 dynamos génératrices, montées sur un même massif, à savoir une machine Gramme série type d'atelier, deux machines shunt type supérieur, dont l'une pourvue de bagues permettant de l'utiliser comme commutatrice triphasée, une dynamo compound Edison Hopkinson, enfin une machine Labour d'électrolyse à excitation séparée, pouvant donner 350 à 400 ampères sous 7 volts (fig. 6).

L'Institut est aussi pourvu d'une distribution d'énergie monophasée empruntée au secteur de la ville [1] : cette distribution alimente les moteurs d'atelier et peut aussi, concur-

[1] En vertu de la convention passée entre la ville de Grenoble et la Société Électrochimique de la Romanche, l'énergie sera très prochainement fournie sous forme triphasée aux abonnés.

remment ou non avec les batteries, assurer l'éclairage de la plus grande partie de l'Institut.

Le laboratoire d'électrochimie comporte, entre autres appareils, un élément d'accumulateur de fortes dimensions pouvant donner 2500 ampères, courant en particulier nécessaire pour certaines expériences, ou même pour divers étalonnages d'appareils industriels pour grosse intensité, et une série de cuves électrolytiques reliées aux accumulateurs par des barres méplates de cuivre pouvant supporter 3000 ampères. L'élément peut être rechargé au moyen de la dynamo Labour d'électrolyse, par l'intermédiaire d'une canalisation aérienne de forte section reliant la salle des machines au laboratoire d'électrochimie.

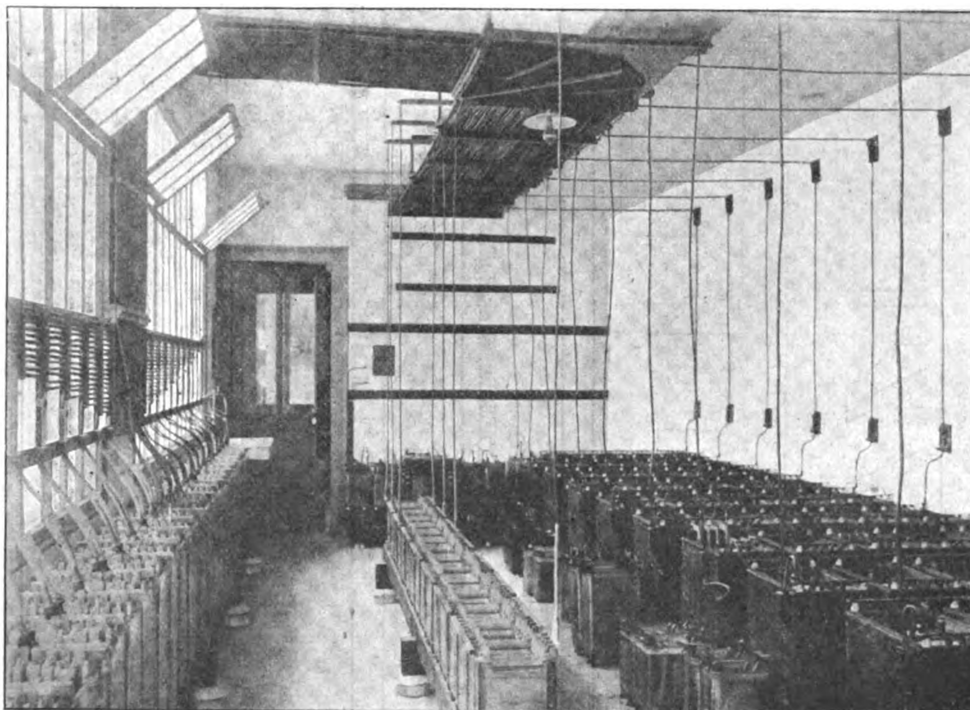


Fig. 7. — Vue de la salle des accumulateurs.

Est également prévue la possibilité de transporter cette dynamo d'électrolyse dans la salle d'électrochimie, de l'installer sur un socle spécial, et de la commander au moyen d'un moteur monophasé asynchrone Brown, alimenté par le courant de la ville.

Les batteries d'accumulateurs de l'Institut sont au nombre de 5. La première B comprend 60 éléments de 250 ampères-heure, la deuxième B', 24 éléments de 300 ampères-heure, la troisième B'', 15 éléments de 100 ampères-heure, la quatrième *b*, de 10 éléments de 100 ampères-heure, enfin la cinquième *b'*, de 12 éléments de 100 ampères-heure, installée au premier étage et surtout affectée, ainsi que B'', au service des lampes à faible tension garnissant les tables de manipulation (fig. 7).

Un coupleur, décrit plus loin, permet de grouper les éléments de la batterie B de façon à réaliser les voltages suivants : 10, 20, 30, 40, 60 et 120 volts.

De même pour B', dont le coupleur permet d'obtenir : 2, 4, 6, 8, 12, 16, 24 et 48 volts.

L'Institut possède deux tableaux de distribution, l'un dit *général* installé dans le bâtiment des accumulateurs, l'autre dit *local*, installé dans la salle des machines et servant à

Vue de derrière

Vue de face

Tableaux de manipulat[ns] des élèves

Lignes du service des Laborat[res]

Plots de connexions des lignes

Plots de connexions des sources

Bornes de départ des lignes

Bornes d'attache des sources

Interrupteurs à fusibles

Coupures facultatives pour insérer les ampèremètres

Fig. 8. — Tableau général ou de couplage.

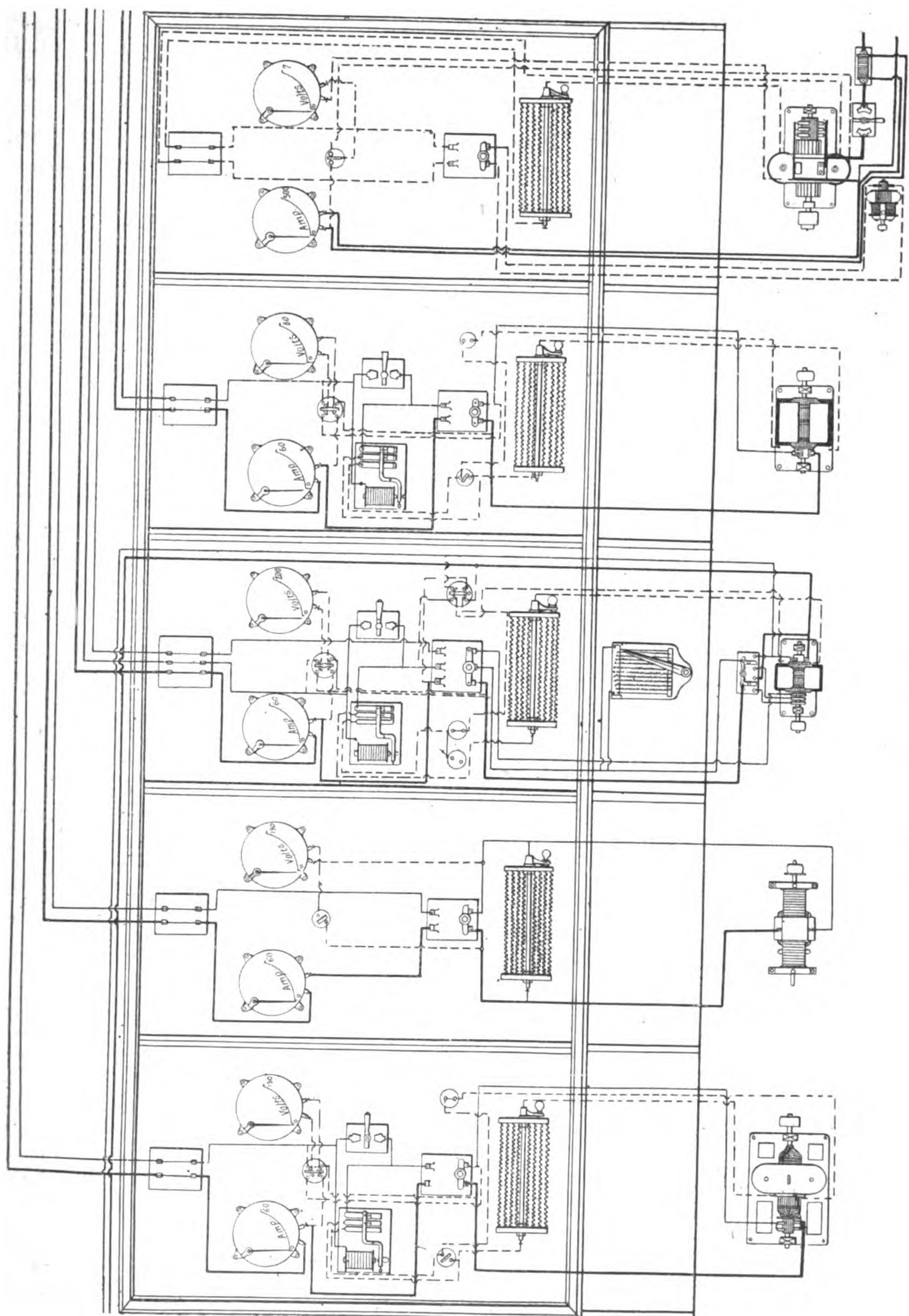


Fig. 9. — Tableau local pour les machines.

***

Vue de derrière

Vue de face

Fig. 8. — Tableau général ou de couplage.

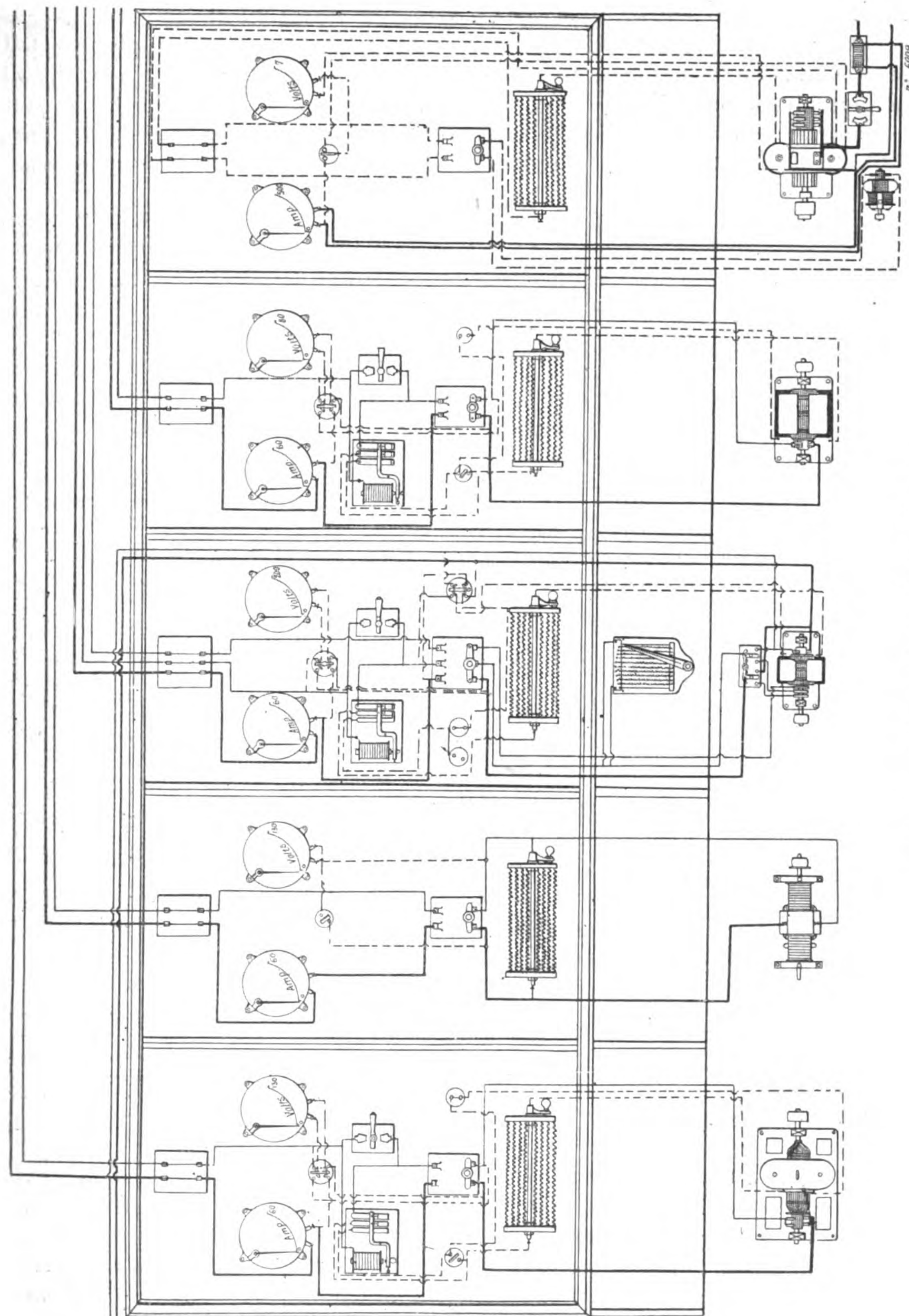


Fig. 9. — Tableau local pour les machines.

***

Vue de derrière

Vue de face

Tableaux de manipulat^ns des élèves

Lignes du service des Laborat^res

Fig. 8. — Tableau général ou de couplage.

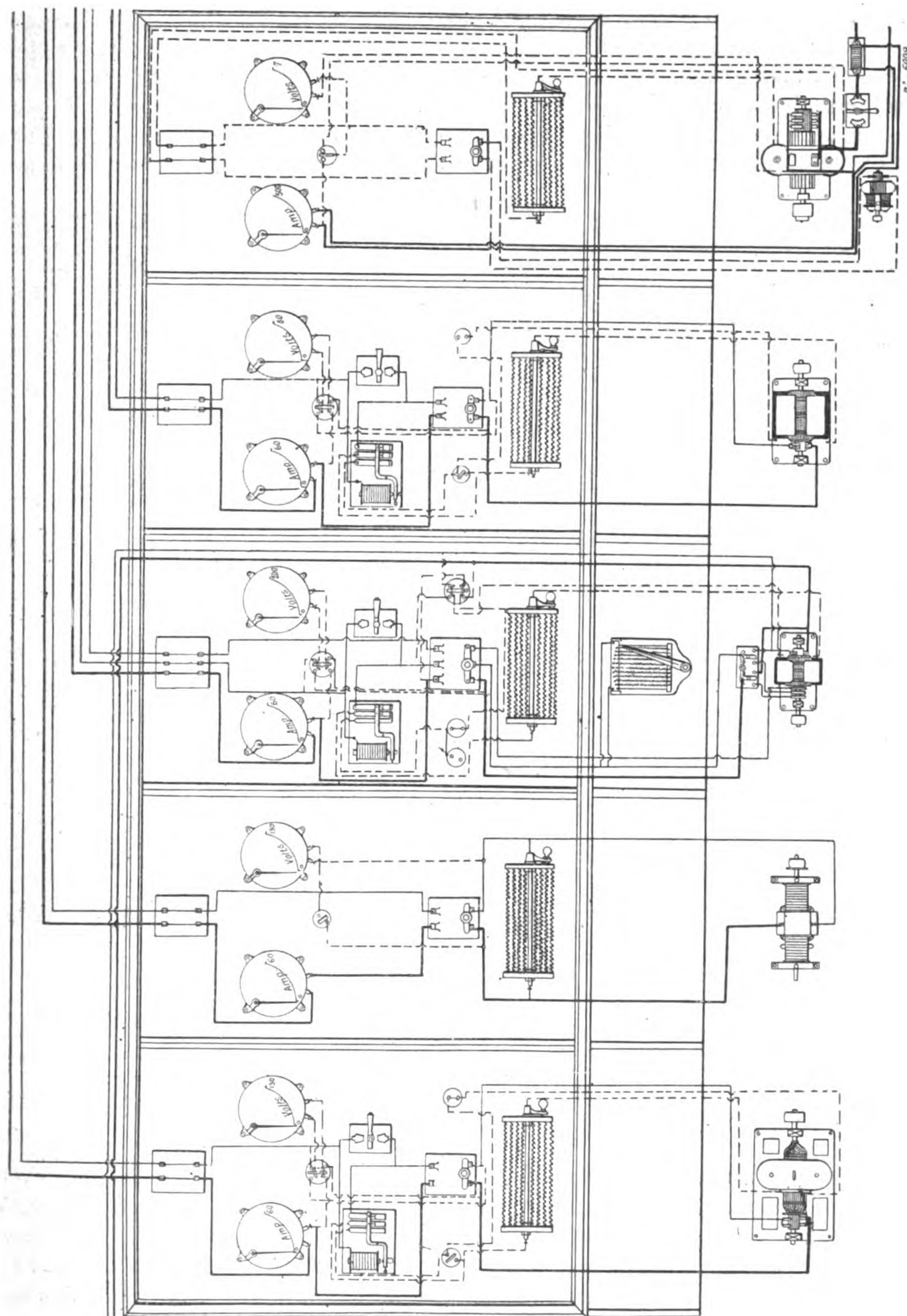


Fig. 9. — Tableau local pour les machines.

***

la régulation et au couplage des 5 machines génératrices installées à poste fixe sur le même massif (fig. 8 et 9).

Le tableau général comprend à sa partie inférieure une série de plots métalliques reliés respectivement aux pôles de toutes les sources d'énergie électrique utilisables à l'Institut, machines, batteries, secteur, etc.; à sa partie supérieure, une série de plots formant le départ de 6 lignes simples à deux fils et de trois fils triphasés (ces lignes circulant dans tout l'Institut), et en outre des plots constituant les départs d'un certain nombre de

Fig. 10.— Batteries B, B' et B'' et coupleur de B'.

lignes particulières. Quant à la nappe de 15 fils desservant tout l'Institut, elle présente de loin en loin des dérivations aboutissant à des tableaux de prise de courant, avec interrupteurs coupe-circuit du type classique à barrettes.

Les manœuvres du tableau général, consistant toujours en la mise d'une source d'énergie déterminée sur une ligne donnée, s'effectuent par le jeu de fiches reliées par des conducteurs souples.

L'un et l'autre pôles de chaque élément des batteries B et B' sont réunis à des godets à

mercure, dans lesquels peuvent plonger des connecteurs de cuivre montés sur planchettes et permettant par suite de grouper ces éléments de manière à obtenir les voltages convenables, indiqués ci-dessus.

Les figures 10 à 14 donnent l'ensemble des batteries d'accumulateurs des machines de service et de leurs connexions mutuelles.

Le tableau local de la salle des machines permet d'effectuer diverses opérations.

Au moyen de la dynamo shunt 120 volts, on peut réaliser :

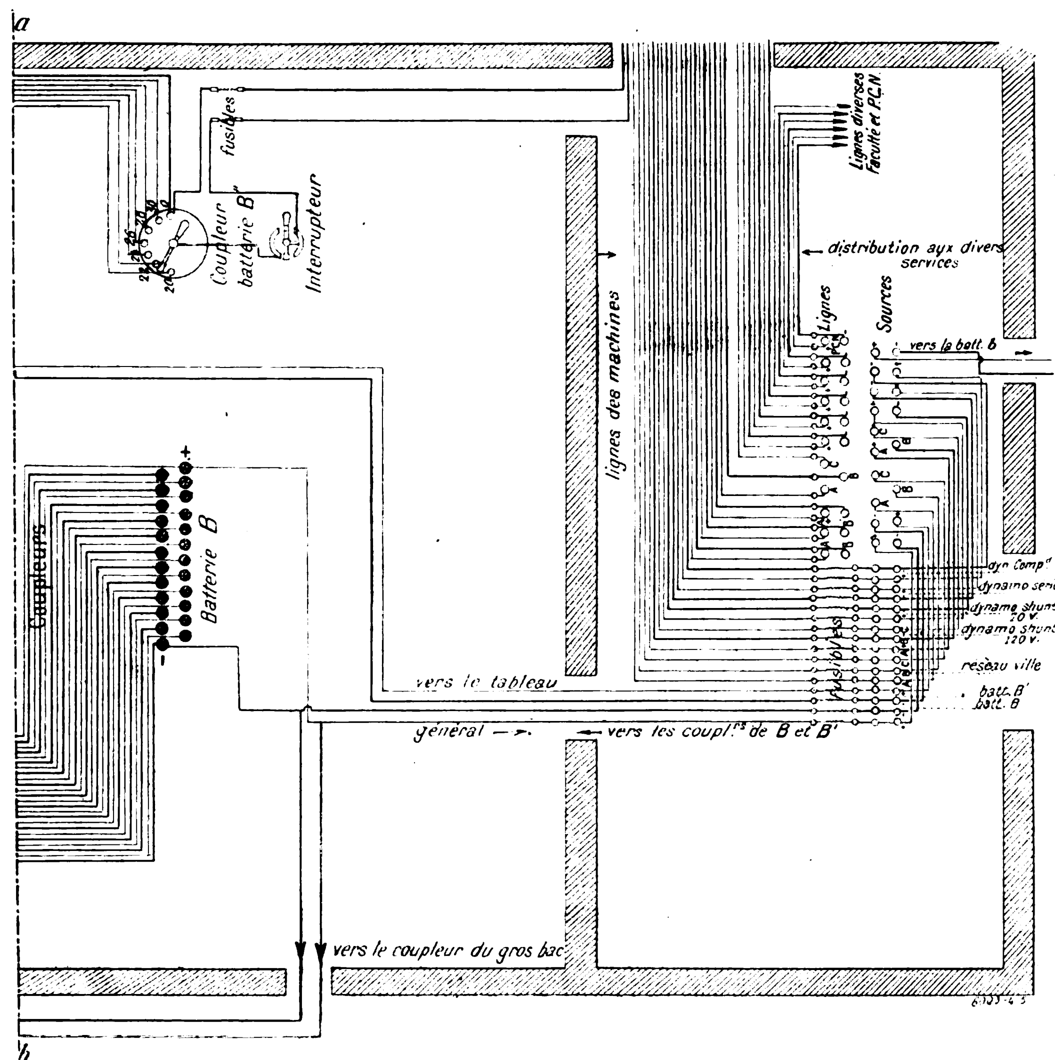


Fig. 10 *bis*. — Tableau général et coupleur de B et B''.

1° Le démarrage du moteur à gaz en couplant les batteries B et B' en tension (120 + 48 volts), en utilisant la dynamo shunt 120 volts comme moteur, le rhéostat disposé au bas de son panneau comme rhéostat de démarrage et le disjoncteur comme interrupteur automatique à minima, fonctionnant dès que le moteur à gaz, commençant à prendre sa vitesse sous l'action du gaz admis, tend à réduire l'intensité du courant passant dans la dynamo-shunt fonctionnant comme moteur.

2° La charge de la batterie B à 60 volts (2 séries de 30 éléments en parallèle).

3° Celle de B′ seule à 48 volts (1 série de 24 éléments).

4° Celle de B seule à 120 volts (1 série de 60 éléments), en couplant la dynamo shunt 120 volts en série avec la dynamo série type d'atelier, ce qui fournit une puissance de 25 ampères sous 200 volts.

5° Celle de B″ + *b* en tension (30 + 24 volts).

6° Celle de B″ seule ou de *b* seule (30 ou 24 volts).

Fig. 11. — Bac de 2 500 ampères et salle d'étalonnage.

7° La charge de B″ et *b*, ou de B′ et de B″ en série, B′ étant déjà chargée partiellement.

8° L'emploi en génératrice de cette dynamo shunt 120 volts pour un service quelconque, autre que la charge des batteries, en la branchant sur les lignes convenables.

9° L'emploi de cette même dynamo, pour des usages divers, avec excitation séparée.

10° L'emploi de cette dynamo en génératrice triphasée, après manœuvre du commutateur bipolaire placé près de la dynamo.

11° L'emploi de cette même dynamo en commutatrice, en alimentant le côté collecteur par courant continu, la même manœuvre que ci-dessus étant faite sur le commutateur bipolaire de la dynamo.

La dynamo compound 80 volts permet :

1° La charge de B à 60 volts ;

2° Celle de B′ à 48 volts ;

3° Celle de B″ + *b* ;

4° Toutes autres charges réalisables avec la dynamo shunt 120 volts ;

5° Tous autres services réalisables avec la précédente dynamo.

La dynamo shunt 70 volts assure les mêmes services que les machines shunt de 120 volts et compound de 80.

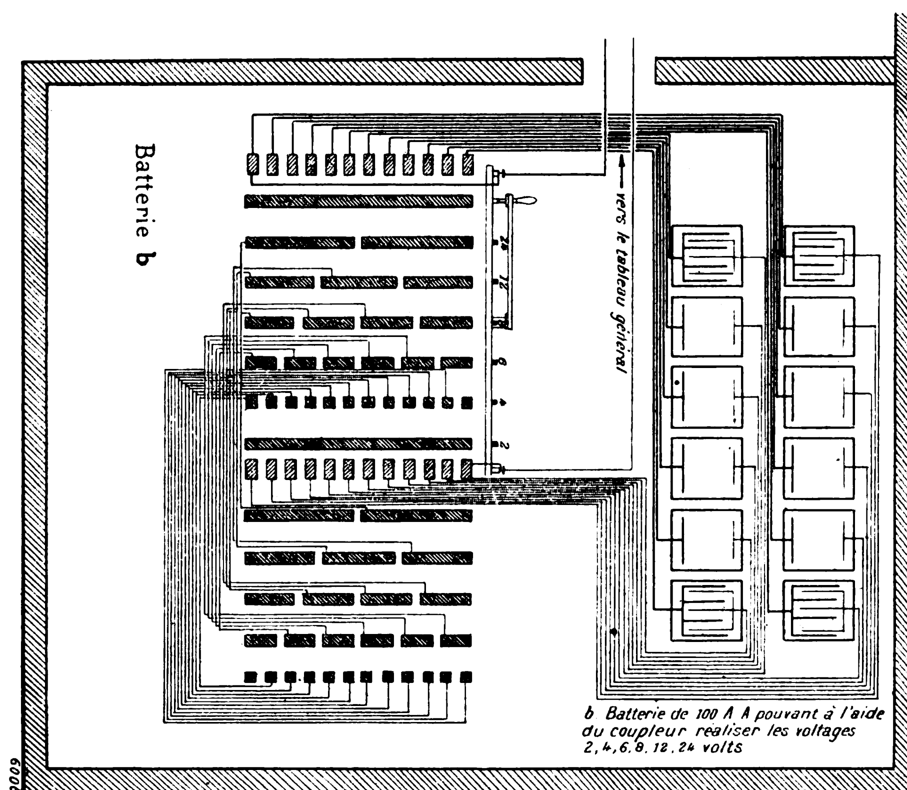


Fig. 12. — Batterie *b* et son coupleur.

La dynamo Gramme type d'atelier s'emploie en série avec la dynamo shunt 120 volts pour la charge de la batterie B en une série de 60 éléments. Elle est aussi affectée à de multiples usages, études d'arcs, etc.

La dynamo d'électrolyse Labour (400 ampères 7 volts) est affectée à la charge de l'accumulateur de 2 500 ampères, et à certaines opérations électrochimiques. Elle est reliée à la salle où se trouve cet élément et où s'effectuent ces opérations par une ligne aérienne, du reste très courte, pouvant supporter 400 ampères.

La machine est du reste soit auto-excitatrice, soit excitée par une petite machine spéciale.

L'Institut possède en outre une collection complète d'instruments de mesures industrielles destinées, soit au service des essais, soit à celui de l'enseignement technique. A citer une série d'ampèremètres et de voltmètres Hartmann et Braun pour tous voltages et intensités, et un certain nombre de machines génératrices et motrices, à courants continus

ou alternatifs ; trois massifs, aménagés dans la salle des machines, permettent en particulier l'étude simultanée de trois groupes de chacun deux machines, l'une motrice, l'autre génératrice, l'attaque se faisant par un embrayage à friction ou par courroie.

Dans la grande salle de travaux pratiques sont installés, en outre, un certain nombre d'étaux, de tours et machines-outils affectés aux élèves lors des séances de travaux pratiques.

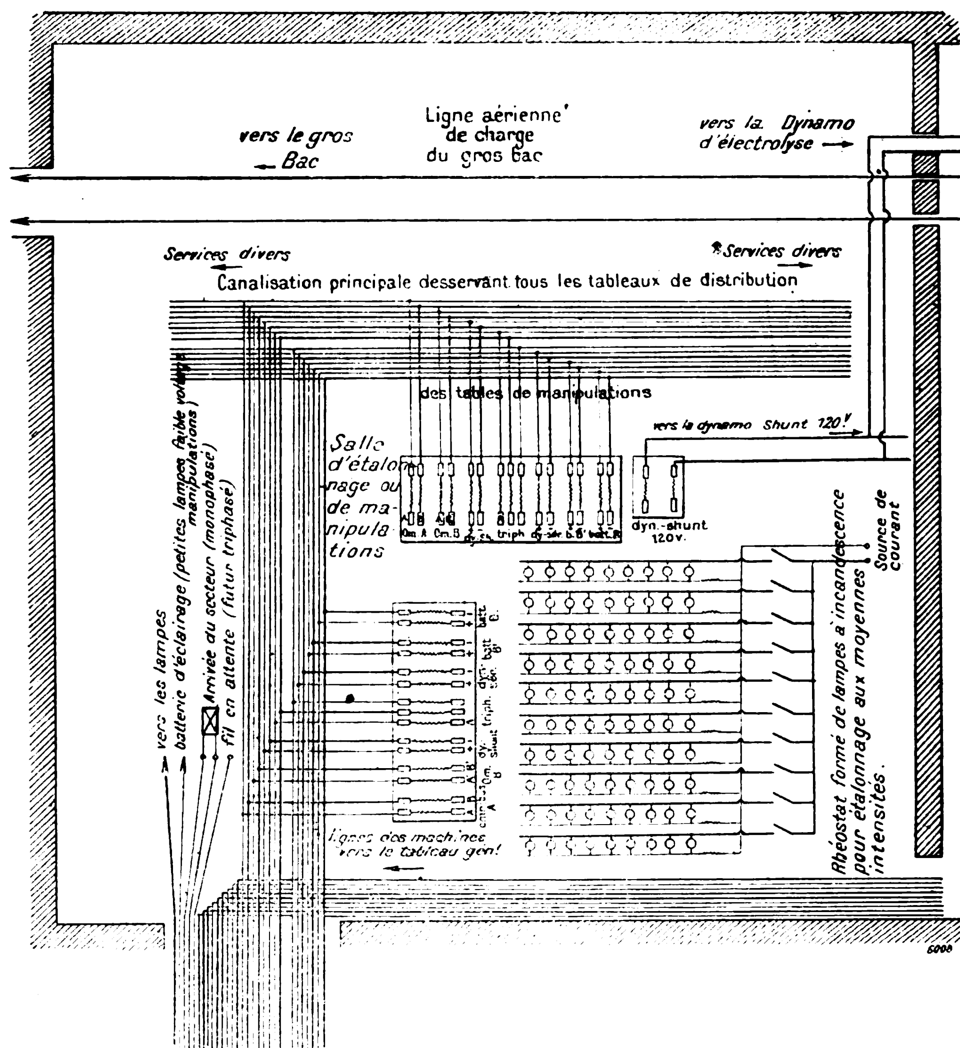


Fig. 13. — Canalisations des salles de manipulations et d'étalonnage.

L'atelier du chef mécanicien MC comporte diverses machines-outils de précision permettant la construction et la réparation à l'Institut même des appareils les plus délicats.

Tel est, dans ses grandes lignes, l'Institut Electrotechnique de l'Université de Grenoble.

Comme nous le disions au début de cet article, il ne réalise certainement pas la perfection du genre, l'Institut type. Mais si l'on veut bien considérer avec quelles ressources relativement réduites, tant au point de vue du local qu'à celui des disponibilités financières, il a pu être créé, les services que, tel quel, il a déjà pu rendre à l'Industrie Electrique, tant par le caractère de son enseignement que par l'étendue des opérations de contrôle et d'éta-

lonnage qu'il peut effectuer, on voudra bien reconnaître que la création de l'Institut et son développement supposent une somme d'efforts considérable.

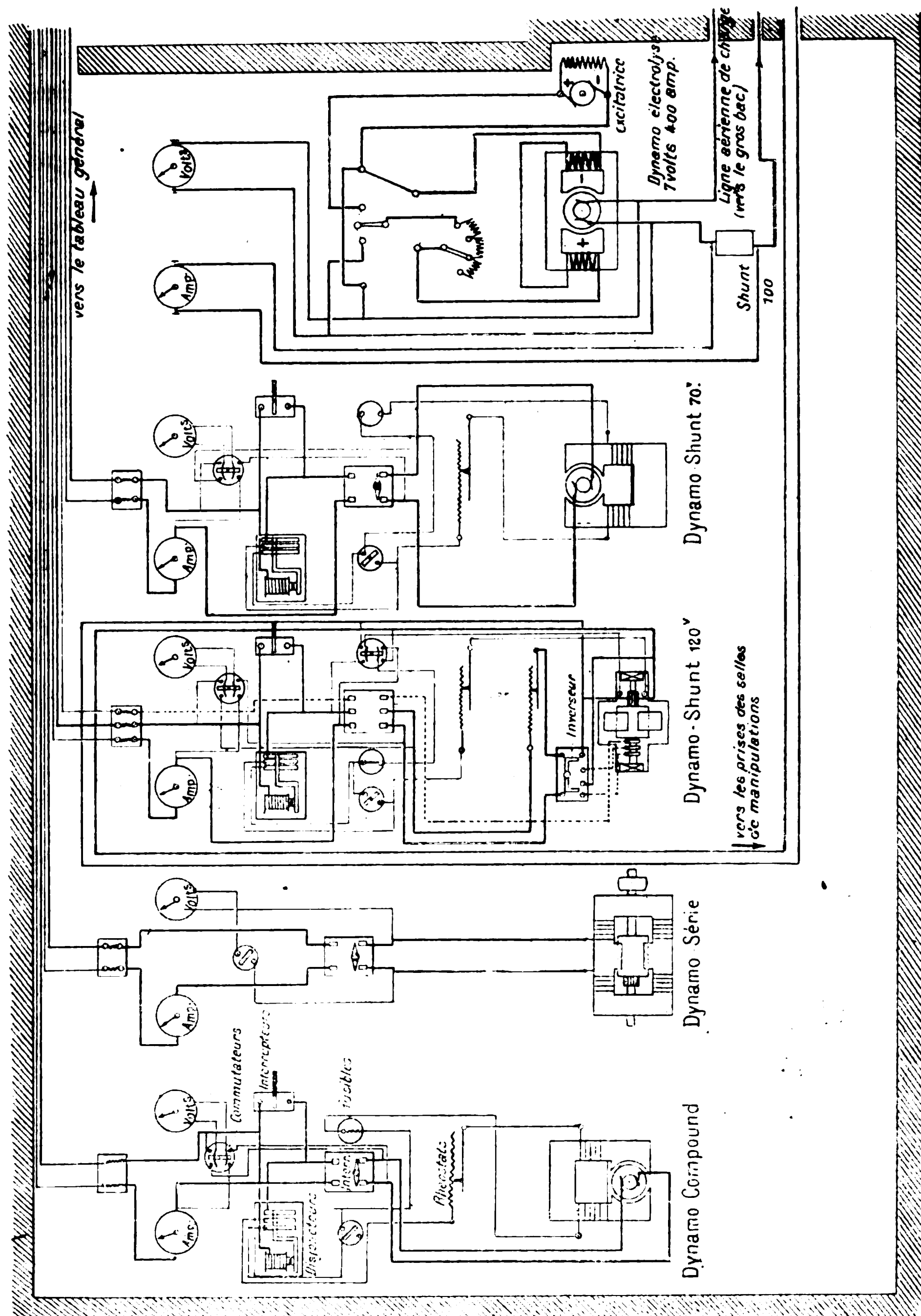


Fig. 14. — Canalisation du tableau local ou des machines.

S'il est de mode d'affirmer que la France arrive toujours bonne dernière en matière d'enseignement industriel, si, hélas, il y a un peu de vrai dans cette opinion pessimiste, il faut proclamer que ce qui manque surtout au haut enseignement technique français, c'est un concours bienveillant de capitaux, au moins de la part de l'industrie privée, qui est la

première à recueillir les fruits de ce nouvel enseignement. En visitant les luxueuses écoles techniques américaines, suisses et allemandes, l'ingénieur et le professeur français ne peuvent se défendre d'un douloureux sentiment de tristesse, né d'une muette mais éloquente comparaison entre les ressources de l'enseignement industriel chez nos rivaux et les nôtres.

Mais si, avec des armes aussi imparfaites, nous parvenons, souvent avec succès, à soutenir le combat, n'est-ce pas le meilleur gage de ce qui serait possible chez nous, du jour où nos laboratoires et nos écoles seraient pourvus de crédits un peu plus larges, et débarrassés de l'angoissante hantise d'un inévitable déficit ?

L. Barbillion,
Maître de conférences à la Faculté des sciences.
Sous-directeur de l'Institut Electrotechnique de Grenoble.

DE LA LÉGISLATION DES CHUTES D'EAU [1]

II. — Projet de la commission parlementaire et contre-projets divers.

La proposition de loi sur les usines hydrauliques déposée par M. Jouart fut renvoyée en 1900 par la Chambre à l'examen d'une Commission déjà saisie de l'étude du projet de loi sur les distributions d'énergie; cette Commission après avoir repoussé le projet Jouart se mit d'accord sur certaines idées générales et se rallia en principe à un texte qui les résumait, rédigé par M. le député Guillain. Ce texte fut communiqué au Gouvernement qui déposa à son tour le contre-projet que nous venons d'étudier et qui était conçu dans un esprit différent de celui dont s'inspira la Commission.

Le projet de la Commission comme celui du Gouvernement se propose de rendre l'intervention de l'État obligatoire pour la création de toutes les grandes chutes; si les opinions sont divergentes sur ce qu'on peut appeler une grande chute, le projet du Gouvernement prenant pour critérium la force de 100 chevaux, alors que le projet Guillain adopte celle de 200 chevaux, les deux projets ont un caractère commun, c'est que l'un et l'autre reconnaissent la nécessité de déclarer *concessible l'énergie des cours d'eau*. Alors que le projet élaboré par le Gouvernement adopte la forme de la *concession de travaux publics*, naturellement *temporaire* et frappée de la précarité attachée aux biens domaniaux, le projet de la Commission préconise le système de la *concession perpétuelle*, comme cela se fait pour les *mines*.

« Le régime de la propriété, nous dit son rapporteur, étant le plus propre à attirer et à retenir les capitaux considérables qu'exigera l'utilisation industrielle de nos chutes hydrauliques ».

C'est tout à fait notre avis, mais il est bien évident que ce principe appelle certains correctifs sous peine d'être écarté invinciblement. Il n'est pas douteux, en effet, ainsi que le reconnait M. Guillain dans son exposé de motifs, qu'il est indispensable « d'écarter les reproches que le droit absolu de propriété attribué gratuitement à un demandeur pourrait soulever ».

Aussi le projet de la Commission apporte-t-il à ce principe plusieurs restrictions impor-

[1] Voir *L'Éclairage Électrique* du 16 mai, p. 256.

tantes : servitude d'usufruit partiel au profit des intérêts publics — droit de rachat — déchéance. Sauf ces dérogations au droit commun, la concession d'une usine hydraulique publique a tous les caractères d'une propriété immobilière.

La première restriction qui vient porter atteinte à la propriété perpétuelle attribuée au concessionnaire est la stipulation d'une réserve d'énergie au profit de l'État, des départements, des communes ou des associations syndicales. Les obligations du concessionnaire à cet égard sont inquiétantes, en ce sens que le droit de réquisition de l'État reste ouvert à *toute époque* et que le *quantum de l'énergie* à dériver dans l'intérêt des services publics reste indéterminé. Nous comprenons fort bien que l'État, en vertu du droit de concéder une propriété perpétuelle qu'il s'attribue et dont il use au profit d'un tiers, ne peut, en échange de cette attribution importante, aliénier *sine die* et intégralement au concessionnaire l'usufruit de la chute d'eau concédée ; nous n'ignorons pas davantage que la quantité de l'énergie dont il pourra avoir besoin ne saurait être déterminée *à priori*. Mais pour justifiables qu'elles soient, ces clauses portent en elles un caractère d'aléa et de préjudice d'autant plus grave que le concessionnaire qui les acceptera ne peut en aucune façon apprécier où cela l'entraînera dans l'avenir.

La question de la revision des tarifs qui se posera à chaque période décennale qui suivra la période de stabilité des quinze premières années, n'est pas moins troublante avec la sanction de mise en régie suivie de déchéance inscrite dans l'article 29.

Il en est de même pour les clauses de rachat et de déchéance qui, si elles se justifient pour les mêmes causes que la stipulation de réserves d'énergie, sont singulièrement menaçantes. Que penser au surplus de ce néo-type de propriété dite perpétuelle, dont l'élément principal, la fixité, est soumis à de telles conditions résolutoires ! Il apparaîtra sans doute aux esprits simples que ces deux termes sont inconciliables et que la notion de l'idée de la propriété, telle qu'on la conçoit, devient une expression vaine et perd toute signification si on lui fait subir des démembrements aussi nombreux et aussi importants.

Quoi qu'il en soit, le rachat tel que l'organise le projet de la Commission se différencie du projet gouvernemental à plusieurs points de vue. Le premier attribue à la juridiction administrative de droit commun en respectant les deux degrés de juridiction la connaissance des difficultés relatives au rachat et notamment à la fixation du prix du rachat, alors que le second fait fixer l'indemnité par des arbitres et attribue directement compétence au Conseil d'État.

Le rachat, d'après le projet de la Commission ne peut être prononcé que pour une cause « d'intérêt public » et le prix du rachat ne pourra porter que sur la valeur des dépendances immobilières de la concession. Le projet gouvernemental est beaucoup moins explicite sur ces deux points.

Enfin, dans le cas où le rachat est demandé par le concessionnaire (art. 27 du projet de la Commission) pour diminution de la moitié de l'étiage en énergie brute, l'usine, au lieu d'être supprimée par un simple arrêté préfectoral, d'après la loi de 1898, ne peut disparaître que par un décret rendu en Conseil d'État, ou par voie d'expropriation avec bénéfice de la juridiction administrative à tous ses degrés, et dans ce cas, l'indemnité est réglée soit par le jury de la loi du 21 mai 1836, soit par celui de la loi de 1841.

En ce qui concerne les causes de déchéance, nous les avons énumérées précédemment; si quelques-unes de ces causes sont discutables le projet de la Commission a, au moins, ce mérite c'est de les avoir fait connaître, ce que s'est abstenu de faire le projet gouvernemental qui laisse à un règlement d'administration publique le soin de fixer les idées sur ce point cependant très important.

***

Tel est dans ses grandes lignes le projet rédigé par M. Guillain, au nom de la Commission.

Depuis son élaboration, des idées nouvelles se sont fait jour et l'ancien rapporteur du projet a fait connaître au Congrès de Grenoble, les modifications assez importantes qu'il avait été amené à faire à son projet primitif. M. Guillain, ainsi que le disait si heureusement M. Michoud dans son compte rendu du Congrès, « a marqué les diverses étapes de son esprit et a déclaré qu'au contact des intéressés, en présence de leur activité et des résultats déjà obtenus par eux, il se sentait de plus en plus disposé à réduire à son minimum l'intervention de l'État ».

Dans le discours très substantiel qu'il a prononcé il a insisté en particulier sur les points suivants.

L'intervention de l'État ne sera plus nécessaire si le riverain possède une étendue de rives suffisante pour permettre l'aménagement rationnel de la chute d'eau ; dans ce cas, comme dans celui où les co-riverains se grouperaient pour arriver au même résultat, le régime de la concession ne serait plus obligatoire automatiquement : l'exécution des travaux pourrait être poursuivie d'après les règles actuelles de la loi de 1898 (art. 4 nouveau).

La clause de rachat est atténuée quant à ses effets, en ce sens que, au lieu d'être possible à *toute époque*, le rachat ne pourra être exercé qu'après un long laps de temps, 25 ou 30 ans, par exemple, et à des dates fixes et connues à l'avance.

Les obligations du concessionnaire, au lieu d'être réglées d'une façon variable et par suite arbitraire par chaque Administration locale dans un cahier des charges bariolé, seront inscrites et précisées par la loi, sous forme, par exemple, d'un cahier des charges-type.

M. Guillain admet enfin le principe d'une indemnité aux usagers non effectifs, contrairement à son opinion primitive, sauf en ce qui touche les cas assimilables à l'expropriation ou à celui de création d'usine publique : dans cette hypothèse l'ancienne jurisprudence qui consiste à n'indemniser que les dommages nés et actuels, restera en vigueur.

Voici, du reste, comment M. Guillain appréciait le projet de loi gouvernemental ; ce morceau vaut la peine d'être cité *in extenso* [1].

« Je serais heureux que le Gouvernement, en présentant un nouveau projet, ne persévérât pas dans le système de la concession de travaux publics. Je crains que le lieu même où son précédent projet a pris naissance n'ait influé d'une manière fâcheuse sur la gestation de ce projet. C'était au ministère des travaux publics ; on y est tellement habitué à manier les concessions de chemins de fer, de tramways, etc., qu'on a adopté naturellement pour nos concessions industrielles une forme analogue. On n'a pas dû effacer le pli professionnel.

» J'ai passé la plus grande partie de ma vie dans les services du ministère des travaux publics, et j'ai été directeur dans ce ministère pendant douze années. C'est une honnête et noble maison, que j'aime ardemment ; mais j'ai quelquefois remarqué qu'on n'y est pas assez pénétré du danger que peut présenter l'augmentation indéfinie des attributions de l'État : on ne se garde pas toujours assez contre la tentation de confier à l'État des tâches qui devraient plutôt rester dans le domaine de l'initiative privée.

» Je crois qu'il ne serait pas impossible d'organiser des concessions de durée limitée dans des conditions telles qu'on donnerait à l'industrie les avantages de liberté d'action et de sécurité que s'est proposées la Commission parlementaire, à peu près aussi complètement qu'avec le système adopté par cette Commission.

---

[1] *Bulletin de la Société d'Études Législatives*, 1902, n° 2.

» Mais ce n'est pas en imitant l'organisation des concessions de travaux publics qu'on y parviendra. En tout état de cause, le projet présenté par le Gouvernement me paraît inacceptable, parce qu'il ne parvient pas à concilier les intérêts de l'industrie avec ceux de l'Etat. »

Parmi les propositions dues à l'initiative privée, la plus originale est sans contredit celle dont M. Michoud s'est fait l'éloquent défenseur; le système de la *licitation*, autrement dit le projet de Grenoble, à cause de la région où il a vu le jour et où il a trouvé ses partisans les plus convaincus, mérite une mention particulière.

Le point de départ de ce projet est tout à fait différent de ceux que nous avons examinés ; il s'appuie sur une double base juridique, l'une qui est le droit d'usage défini par l'article 644 du Code civil, l'autre l'application des principes qui découlent de l'article 815 du Code civil, c'est-à-dire du droit de demander la licitation.

Ce système cherche à concilier l'intérêt privé et l'intérêt général en permettant la concentration des droits épars des riverains et en assurant ainsi à la fois, le respect dû à ces droits et l'aménagement rationnel de grandes forces hydrauliques.

Le fondement de ce système réside dans cette idée qui consiste à considérer « le droit d'utiliser l'eau comme appartenant par *indivis* aux deux riverains et à permettre à chacun d'eux, pour arriver à une utilisation effective, de provoquer une *licitation* qui les fera sortir de l'indivision ; c'est le moyen le plus simple d'arriver à la concentration des droits de riveraineté non au profit d'un élu de l'Administration, mais au profit du plus offrant, et d'indemniser en même temps les autres riverains par la distribution du prix de licitation de la perte de leurs droits de riveraineté ».

Ce système a le mérite de reposer sur des assises juridiques bien définies et de mettre en mouvement une procédure familière et qui offre la garantie d'un pouvoir judiciaire compétent et éprouvé. Mais on fait à l'idée même de licitation plusieurs objections qui sont des plus sérieuses. On commence *a priori* par nier le droit des riverains sur la chute elle-même et on refuse de voir transformer le droit *individuel* des riverains sur l'eau, que leur confère l'article 644, en un droit de *co-propriété* sur l'énergie de l'eau.

Une autre objection, c'est que la licitation ne répondra pas à cette nécessité de voir la chute adjugée au plus capable, au meilleur, et que l'adjudication sera faite le plus souvent à vil prix. A quoi on répond que la licitation offre d'abord cet avantage de permettre au riverain soit d'utiliser personnellement la chute, s'il le désire, en se portant adjudicataire, soit, au contraire, de transformer son droit en argent, si cette solution lui agrée mieux ; qu'en outre, la présence des tiers à l'adjudication fera que forcément le « marché » des chutes ne sera pas avili.

L'auteur du projet avait à répondre, en outre, à une préoccupation sérieuse, à savoir : d'assurer la mise en valeur par l'adjudicataire de l'énergie hydraulique qui lui a été adjugée ; le droit de poursuite sur folle enchère, ouvert à l'Administration pendant les deux mois qui suivront l'adjudication, pourvoit à cette légitime objection (art. 12 et 13).

Le point le plus difficile à résoudre, c'est la question de la détermination de la section du cours d'eau sur laquelle la licitation pourra être ordonnée. Le projet entoure la demande de licitation d'une publicité suffisante et institue une procédure d'enquête qui paraît devoir assurer la fixation du sectionnement de la façon la plus sage, étant donné le droit d'intervention et de veto de l'Administration. Enfin les droits des tiers sont respectés par une série de mesures figurant dans le projet et par une extension heureuse à l'industrie, des lois de 1845 et 1847 limitées jusqu'alors à l'irrigation.

Un point très intéressant, c'est la faculté par l'Etat de requérir l'expropriation pour

cause d'utilité publique au cours de la procédure de licitation ; l'emploi de ce moyen aura pour résultat de sauvegarder, chaque fois que cela en vaudra la peine, l'intérêt général qui ne doit pas être perdu de vue.

Le chapitre III du projet prévoit, du reste, la possibilité de la création d'usines d'utilité publique ; il en fixe le caractère et en détermine le rôle en indiquant qu'elles devront être affectées à titre principal aux besoins des services publics et que ses excédents pourront, à titre accessoire, être livrés à l'industrie privée (21) ; dans tous les cas, on suivra les règles édictées par la loi du 3 mai 1841.

Le contre-projet présenté par MM. Hauriou, professeur à la Faculté de droit de Toulouse et H. Ader, ingénieur des ponts et chaussées, à Narbonne, repose également sur l'idée d'une licitation, mais *administrative*, des droits riverains syndiqués ; les auteurs du projet prennent comme point de départ la constitution en association syndicale des riverains de tout ou partie d'un cours d'eau, et, en vertu du droit de louer ou de vendre qui leur serait attribué, ils prétendent assurer, par la voie d'une adjudication faite sous le contrôle de l'Administration, la meilleure utilisation possible des chutes d'eau et l'aliénation des droits des riverains dans les conditions les plus fructueuses.

Les auteurs de ce contre-projet prévoient le cas, où pour une raison ou pour une autre, la formation d'un Syndicat ne pourrait être réalisée ; ils accordent alors à l'Etat le droit de concéder l'énergie hydraulique, mais en limitant ce droit à cette condition absolue qu'il y ait *hic et nunc une concession de réseau de distribution publique d'énergie*.

Nous avouons que cette partie du système nous séduit particulièrement et que nous croyons qu'il y a dans cette idée la base la plus raisonnable pour l'élaboration du futur projet de loi sur l'utilisation de l'énergie hydraulique de nos cours d'eau. Toutefois, nous ne sommes pas très partisans de la licitation administrative par des syndicats spéciaux de riverains, d'abord parce que nous ne croyons guère à la vertu agissante des syndicats, ensuite parce que ce procédé laisse toujours subsister cette tutelle administrative qui nous fait peur.

La nouveauté du système réside en ce que l'intervention de l'Etat n'apparaît pour ainsi dire qu'*in extremis*, c'est-à-dire quand l'initiative privée mise en jeu pour constituer un syndicat est restée stérile ; il paraît, en effet, bien difficile dans ce cas, de refuser à l'Etat le droit de concéder dans des conditions de modération et de liberté suffisantes, puisqu'il y a eu, pour ainsi dire, faillite de l'effort tenté par les riverains, auxquels on a au préalable, témoigné d'un respect et d'une déférence convenables en leur laissant la liberté d'action nécessaire.

Une autre originalité du contre-projet en question, c'est de subordonner l'effet de la loi nouvelle à la préexistence d'une concession de distribution d'énergie et spécialement d'entreprises hydro-électriques visant le transport de l'énergie à distance.

Cette idée est très sage ; elle correspond du reste à cette autre idée qui, pour nous, devra dominer toutes les discussions sur cette question, à savoir que les modifications de la législation des chutes d'eau sont solidaires du projet de loi sur les distributions d'énergie et ne doivent faire qu'un seul et même tout avec lui.

Nous ne saurions pousser plus loin l'examen et la critique des diverses idées qui se sont fait jour à propos des modifications à apporter à la législation des chutes d'eau, sans dépasser le cadre d'une simple étude ; aussi bien, est-il temps, après une si longue analyse, de rassembler les divers morceaux de ce travail et de faire un peu de synthèse.

Parmi les divers systèmes qui se sont imposés à l'attention par leur aspect original et pour ainsi dire personnel et qui du reste ont fait l'objet d'une proposition étudiée et fixée dans un texte précis, on peut en distinguer quatre principaux.

I. — Le projet du Gouvernement qui vient en première ligne. M. Tavernier s'est fait le défenseur le plus qualifié de ce projet qu'il semble considérer, sauf quelques modifications assez importantes du reste, comme l'expression la plus heureuse d'une nouvelle législation des chutes d'eau. Dans ce projet, qui prend pour point d'appui le système de la concession de travaux publics, l'usine n'est concédée que moyennant une déclaration d'utilité publique; malgré son utilisation d'ordre privé, elle fait partie du domaine public; elle n'est concédée qu'avec un cahier des charges qui contient des clauses menaçantes et souvent léonines : réserves d'énergie pour les services publics ; concours financiers ; retour à l'Etat au terme de la concession ; rachat après quinze ans; déchéance possible; contrôle incessant de l'Administration. A un autre point de vue, les droits des riverains sont lésés en ce sens que dans le paiement des indemnités, il n'est tenu compte que des droits des usagers effectifs.

II. — Le projet de la Commission, modifié par M. Guillain, dans un sens plus libéral et plus conforme aux intérêts de l'industrie, repose également sur le principe de la concession, mais sur une concession du type de celle des mines et, par suite, se rapprochant du caractère de la propriété de droit commun. Toutefois, malgré sa prétention à la perpétuité, cette concession boiteuse reste toujours affligée de la tare originelle du rachat, fût-il ajourné à trente ans; nous savons bien que cette demi-précarité est une fatalité nécessaire sous l'ère de la concession, si libérale soit-elle, et qu'on ne saurait demander à l'Etat d'engager l'avenir indéfiniment. Il n'en reste pas moins debout tout un régime de servitudes, de contrôle et de préoccupations qui s'harmonise difficilement avec la notion de liberté qu'on rêve pour l'industrie.

Aussi, sans méconnaître les efforts très généreux qui ont été faits par son éminent rapporteur, ce projet, même avec ses modifications, dont quelques-unes sont véritablement très sérieuses, ne saurait, croyons-nous, être accepté tel qu'il est sans porter atteinte aux espérances de tous ceux qui n'attendent le développement de notre puissance hydraulique que de l'initiative privée.

III. — Le projet de la licitation, défendu par MM. Michoud et Pinat, offre un point de vue nouveau; il a pour lui de s'amorcer sur des principes juridiques bien définis et qui bénéficient d'une expérience déjà longue. Malgré ses côtés séduisants, nous voyons bien des difficultés dans l'application, et en particulier, en ce qui touche la réalisation de la question du sectionnement au point de vue de la sauvegarde des droits des riverains et aussi de l'aménagement rationnel des chutes d'eau qu'on ne saurait perdre de vue.

IV. — Pour nous, c'est le projet de MM. Hauriou et Ader qui (pour quelques-uns de ces éléments tout au moins) contient des idées qui nous paraissent plus dignes de retenir notre attention, car elles correspondent à notre sentiment qui est, avant tout, de repousser toute intervention de l'Etat par voie générale et réglementaire. Une première idée nous paraît très séduisante, c'est de ne permettre à l'Etat d'apparaître qu'autant que les ressources de l'activité privée pour la mise en valeur des chutes d'eau aura été épuisée.

L'obligation de lier la concession hydraulique à intervenir dans les conditions précitées avec l'existence d'une concession de distribution électrique impliquant un transport de force est également une des conditions nous paraissant devoir être inscrites dans un projet de loi. Mais nous avouons ne pas espérer beaucoup du parti qu'on pourrait tirer de groupements syndicaux en vue de la mise en valeur des chutes; nous avons dit plus haut ce que nous en pensions.

Que conclure de tout cela ? D'abord qu'il ne faut pas se hâter de légiférer et que toute loi qui interviendrait, avant que l'étude hydrologique de nos cours d'eau, qui sera longue

et difficile, ne soit acquise, serait prématurée et par suite inutile et dangereuse. Que cette affirmation trouve sa justification, d'une part, dans les résultats obtenus ces dernières années par l'industrie privée avec ses seuls moyens, et d'autre part dans le peu d'empressement, pour ne pas dire l'hostilité, que les industriels ont manifesté à l'égard de toute modification à la législation actuelle qui se traduirait par une intervention de l'Etat.

Dans tous les cas, et si on devait en arriver dès maintenant à créer un instrument législatif nouveau pour les chutes d'eau, il semblerait que les législateurs dussent s'inspirer des idées suivantes :

Réunir dans un seul et même texte la question de la réglementation de la production de l'énergie hydraulique des cours d'eau navigables ou non navigables et celle de la distribution de l'énergie qui sont connexes.

Ne mettre l'Etat en mouvement comme pouvoir concédant que lorsque les efforts des riverains ou des tiers, après un laps de temps imparti, sont demeurés stériles en vue de l'aménagement rationnel et puissant d'une chute déterminée ; que dans tous les cas, l'intervention de l'Etat ne soit possible que s'il existe déjà une concession de distribution d'électricité pour des services publics à alimenter.

Que le cahier des charges de la concession soit conçu d'une façon libérale tant au point de vue du respect des droits de tous les usagers qu'en ce qui touche la liberté de mouvement du concessionnaire, atteinte par la clause nécessaire du rachat, par l'exercice du droit de contrôle de l'Administration et aussi par les stipulations de réserves d'énergie.

Ne pas perdre de vue que la création d'usines hydrauliques importantes est subordonnée aux demandes des usines d'emploi, et que s'il y a lieu de pourvoir à des services publics, la faculté de mettre en jeu la loi de 1841, reste toujours ouverte et paraît quant à présent devoir suffire à tous les besoins.

Tels sont les désidératas que nous formulons, tout en espérant qu'on laissera à l'initiative privée le soin, comme le disait M. Paul Leroy-Beaulieu, au Congrès de Grenoble, « de développer et de répandre cette nouvelle source d'énergie qui réside dans la houille blanche ». Nous persistons à croire que les Etatistes à outrance nous conduisent sur une pente dangereuse et que les manifestations de ce genre doivent être énergiquement repoussées. Qui dit concession dit servitude et précarité ! L'industrie hydro-électrique en France a donné des preuves suffisantes de vitalité pour ne pas mériter le collier et la chaîne qu'on veut lui forger. « Laissez faire, laissez passer », cette doctrine économique sera toujours synonyme de liberté, de vérité et de justice.

Edmond Juge,
Avocat-Conseil.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Exécution pratique actuelle des machines asynchrones avec compensation et compoundage, par **A. Heyland**. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, p. 51, 72, 95 et 213 ; 22 janvier, 29 janvier, 5 février et 19 mars 1903.

A. Dimensionnement général du rotor. — Le principe fondamental sur lequel reposent les machines asynchrones compensées consiste dans l'obtention du champ tournant par la fourniture d'un courant déwatté, non plus au stator sous la fréquence et la tension du réseau, mais au rotor sous la fréquence du glissement et une tension très faible à peine supérieure à la chute

ohmique dans le rotor, d'où résulte une économie considérable de puissance magnétisante et la réalisation d'un facteur de puissance très voisin de l'unité à toutes les charges.

On peut comparer le moteur asynchrone compensé au moteur synchrone et se représenter le rotor comme comportant (fig. 1) un inducteur à

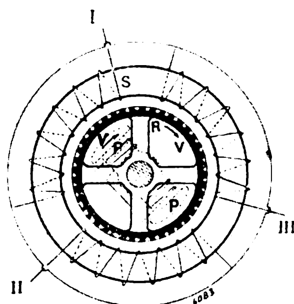


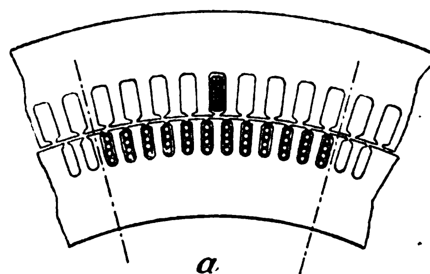
Fig. 1.

pôles séparés P fou sur l'arbre, tournant à la vitesse du synchronisme et une armature en court-circuit R, solidaire de l'arbre du rotor, dont la fonction est de maintenir fixe la position du champ par rapport au rotor et qui par suite transmet le couple du stator au rotor. En charge l'inducteur P conserve toujours la vitesse du synchronisme, tandis que l'armature R glisse et se trouve être le lieu de production de courants wattés correspondant au couple transmis.

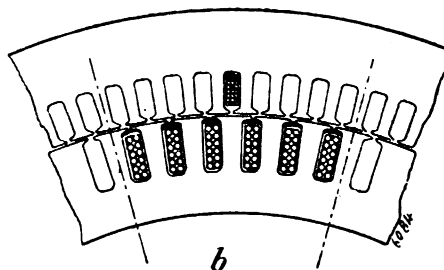
L'excitation à fournir au rotor varie avec la charge : elle est beaucoup plus faible dans le moteur asynchrone que dans le moteur synchrone, d'abord à cause du plus petit entrefer et ensuite à cause de la plus petite dispersion du moteur asynchrone relativement au moteur synchrone : la place correspondant à l'enroulement du rotor pourra donc être moins importante dans le moteur asynchrone.

D'autre part, le stator, n'ayant à fournir que des courants wattés, pourra être exécuté avec des encoches plus petites que dans le moteur normal, ce qui permettra de choisir un nombre d'encoches assez grand pour diminuer la dispersion : le rotor ayant à fournir aussi l'excitation devra posséder des encoches plus grandes, mais comme on pourra laisser croître d'une façon appréciable la dispersion, sans craindre qu'elle devienne à beaucoup près aussi importante que dans les moteurs synchrones, on sera amené à percer dans le rotor des encoches peu nombreuses, larges et profondes, avec ouverture suffisante pour permettre d'y introduire d'un seul coup des bobines exécutées préalablement sur gabarit et maintenues ensuite en place par des cales de forme convenable.

Tandis que, dans le moteur ordinaire, le champ du rotor est égal à la différence du champ du stator et du champ de dispersion, ici le champ du rotor est égal à la somme du champ du sta-



Machine normale



Machine compensée

Fig. 2.

tor et du champ de dispersion : la capacité de surcharge est plus grande, car on peut compenser facilement la dispersion par une augmentation (peu gênante étant donnée la faible fréquence) du courant d'excitation du rotor, et la dispersion pouvant devenir plus grande impunément, on dispose d'une place beaucoup plus considérable pour les enroulements par augmentation de la profondeur des encoches, ce qui permet d'obtenir une puissance volumique beaucoup plus grande.

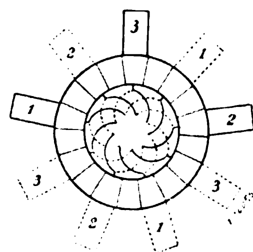
La figure 2 donne la comparaison entre la denture d'un moteur ordinaire (*a*) et celle d'un moteur compensé (*b*).

B. Dimensionnement du collecteur. — Grâce à la présence de l'enroulement en court-circuit,

le nombre de lames du collecteur peut être pris très petit et l'importance du collecteur réduite à 5 ou 10 p. 100 de celle d'un collecteur ordinaire à courant continu appartenant à une machine de même nombre d'ampèretours. Si on voulait employer un enroulement ordinaire à courant continu, non en court-circuit, il faudrait donner au collecteur les mêmes dimensions que dans la dynamo à courant continu équivalente : en effet, il y a analogie complète entre la commutation dans les deux cas ; la force électromotrice induite dans la section en court-circuit est nulle au synchronisme dans la machine compensée comme dans la dynamo ordinaire en marche à vide avec balais calés sur la ligne neutre, et elle augmente lentement avec le glissement comme dans une dynamo en charge avec balais toujours calés sur la ligne neutre de la marche à vide. D'autre part le courant alternatif peut être regardé comme constant pendant le court intervalle de temps de la commutation, et la tension de réactance atteint au moment du maximum la même valeur que dans une dynamo à courant continu de même intensité.

Les énormes dimensions à donner dans ce cas au collecteur rendraient la compensation inapplicable aux machines à grand nombre de pôles.

Pratiquement le nombre des balais à adopter est donné par le nombre de phases : il faut 3 balais pour la compensation simple en triphasé, 6 balais pour la compensation avec compoundage. On s'en tient à ces nombres quel que



Collecteur hexapolaire à 3 balais.

Fig. 3.

soit le nombre de pôles, et on relie entre elles les lames du collecteur par des connexions du système Mordey en nombre égal au nombre des paires de pôles, comme le montre le collecteur hexapolaire de la figure 3.

Le nombre minimum de lames correspondant est de 3 ou 6 par pôle, suivant qu'il s'agit de machines simplement compensées ou de machines compoundées ; on l'adopte dans les petites machines ; dans les gros moteurs, où l'on veut augmenter la tension aux balais pour réduire le courant, on va au maximum jusqu'à 12 lames par pôle.

C. Enroulement du rotor et théorie de la commutation. — L'enroulement du rotor constitue la partie la plus importante de la machine : il doit satisfaire aux deux conditions, contradictoires en apparence, d'être un enroulement fermé en court-circuit sur lui-même et de permettre l'amenée du courant magnétisant au rotor par l'intermédiaire d'un collecteur.

On a eu recours d'abord à deux solutions : la première consistait à employer deux enroulements distincts, dont l'un était fermé en court-circuit sur lui-même et dont l'autre aboutissait au collecteur ; la seconde, à utiliser un enroulement relié à un collecteur dont les lames étaient réunies entre elles par des connexions supplémentaires ou shunts constituant ainsi un enroulement en court-circuit. La seconde solution est la meilleure, car elle n'occasionne pas plus de pertes que la première, mais offre de plus l'avantage que la présence des shunts facilite considérablement la commutation.

La commutation a pour conséquence de provoquer de fortes pulsations dans le champ pratiquement réalisable dans les moteurs compensés. Les figures 4 et 5 où le rotor est supposé fixe et les balais mobiles dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, fait voir nettement ces pulsations : les flèches indiquent le sens des courants.

Ces figures se rapportent à deux modes très différents d'enroulement du rotor : la figure 4 a un enroulement continu fermé ordinaire ; la figure 5 à un enroulement triphasé à collecteur, dans lequel chaque phase est représentée par une bobine (enroulement ouvert).

Dans les différentes positions *a b c d* qui se suivent à des intervalles d'un douzième de période, on voit que pour l'enroulement fermé de la figure 4, indépendamment des pulsations dans l'intensité du courant, la direction du courant ne reste sensiblement constante que dans les bobines 3, 4, 9, 10, tandis que le courant varie de 0 à un maximum dans les bobines 2, 5, 8, 11, et est un courant alternatif pur dans les bobines

1, 6, 37 et 12, où il change deux fois de sens pendant un tiers de tour, c'est-à-dire constitue un courant de fréquence triple. Un accroissement du nombre des balais diminue l'amplitude des pulsations, mais augmente leur fréquence ; une augmentation du nombre des lames réduit l'amplitude des pulsations dues à la commutation.

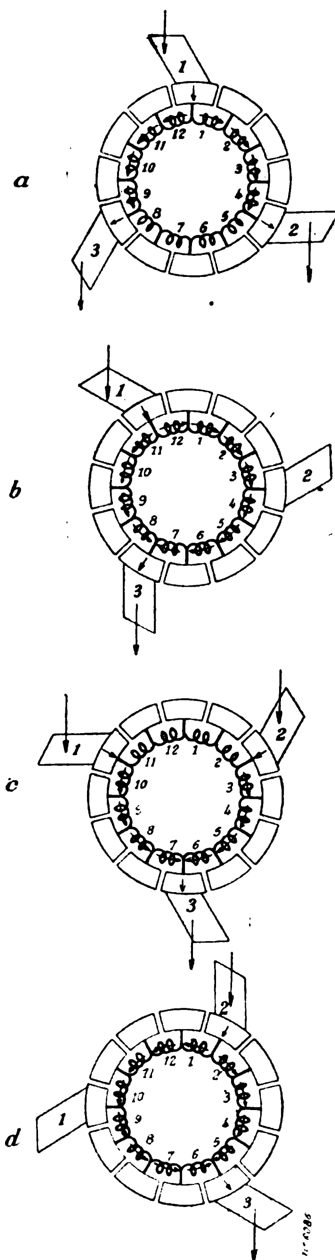


Fig. 4.

Dans l'enroulement triphasé (ouvert) de la figure 5, il n'y a pas d'inversion de courant dans les bobines, mais les pulsations sont très fortes ; le courant serait même nul dans tout l'enroulement de la position *c*, sans la présence des shunts entre lames.

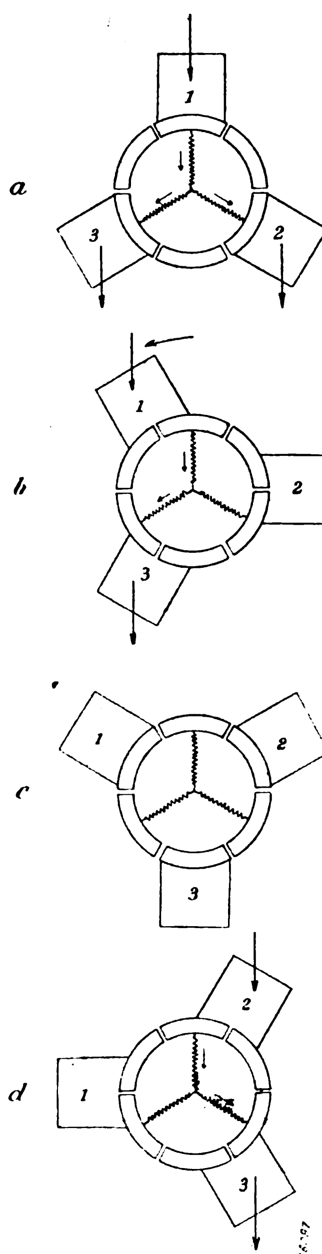


Fig. 5.

Ces pulsations sont d'autant plus fortes que la

fréquence du courant d'alimentation et le nombre de pôles de la machine sont plus grandes et que la division de l'enroulement est plus faible; mais elles sont fortement réduites par le court-circuit des shunts et l'expérience démontre pour des enroulements à faible division, ce résultat surprenant au premier coup d'œil que par suite de l'effet amortisseur des shunts la tension à appliquer aux balais pour obtenir un courant donné est sensiblement proportionnelle à la résistance de ces shunts.

L'auteur résume ces résultats en quelques formules approximatives et empiriques.

Comparons l'enroulement continu de la figure 4 à un enroulement triphasé ordinaire de même résistance et non inductif : cet enroulement continu constitue un enroulement en triangle connecté au collecteur aux 3 lames placées sous le balai et pour donner le même résultat doit comporter un nombre d'ampère-tours théoriquement égal à $\frac{2}{\sqrt{3}}$ fois celui de l'enroulement ordinaire : d'ailleurs l'action des shunts étant ici très forte y compris l'action des pulsations, et abstraction faite de la résistance des shunts, la tension nécessaire peut être prise égale à la tension correspondante au nombre d'ampère-tours théorique, multipliée par un facteur de magnétisation μ, qui a pour valeur

$$1,2 \text{ à } 1,4.$$

Pour l'enroulement triphasé de la figure 5, le facteur μ est plus considérable :

$$\mu = 1,4 \text{ à } 1,6.$$

Appelons facteur de résistance du rotor, le rapport de la résistance totale des shunts, mesurée de balai à balai, à la résistance correspondante de l'enroulement; le rapport de la résistance totale du rotor à celle de l'enroulement est

$$1 + \rho.$$

Par suite de la présence des balais qui court-circuitent un ou plusieurs shunts, il faut pratiquement remplacer ρ par $c\rho$, c étant un facteur plus petit que l'unité et variant, pour des machines multipolaires à un petit nombre de lames par pôle, entre 0,5 et 1.

Finalement si on désigne par E la tension aux balais déduite de la résistance de l'enroulement seul et du nombre d'ampèretours, par E_c la tension effective d'excitation aux balais, par R et r les résistances de l'enroulement et du circuit des shunts, telles que $\rho = \frac{r}{R}$, on a

$$E_c = E_r \mu (1 + c\rho).$$

1° *Enroulement continu à collecteur shunté.*— Comme on l'a déjà vu, le facteur de magnétisation μ est relativement bon, 1,2 à 1,4; et si l'on désigne par P_r les pertes d'excitation correspondant à E_r, on a pour les pertes d'excitation pratiques, abstraction faite des pertes dans les shunts,

$$P_c = P_r \mu (1 + c\rho);$$

de même entre le glissement réel g_c et le glissement théorique pour un enroulement en court-circuit de résistance R, existe aussi la relation

$$g_c = g_r (1 + c\rho).$$

Au double point de vue du glissement et de la dépense d'excitation, il y a donc intérêt à choisir ρ aussi petit que possible. Mais il n'en est plus de même au point de vue des pertes dans les shunts P_s, qui peuvent se mettre sous la forme :

$$\frac{P_s}{P_r} = \frac{\frac{E^2_c}{E^2_r}}{\rho} = \frac{\mu^2 (1 + c\rho)^2}{\rho},$$

et sont infinies pour ρ nul.

En réalité cette formule n'est applicable qu'aux faibles valeurs de ρ, car lorsque ρ augmente l'amortissement des pulsations devient insuffisant et la tension E_c augmente et avec elle les pertes P_s, qui deviennent beaucoup plus grandes que ne l'indique la formule.

Pratiquement, il y a une valeur de ρ pour laquelle les pertes d'excitation et les pertes dans les shunts donnent un total minimum [1].

L'auteur fait d'ailleurs remarquer que toutes ces formules ne sont évidemment que grossièrement approchées.

2° *Enroulement triphasé à collecteur shunté.*

---

[1] Une partie du courant de glissement passe par les balais, et la formule $g_c = g_r (1 + c\rho)$ n'est qu'une approximation grossière, surtout si ρ devient appréciable; comparer au sujet de tout ce passage la théorie générale de M. Blondel : Théorie des alternateurs polyphasés à collecteurs. *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 121 et suiv., 23 avril 1903.

— L'enroulement triphasé permet d'éviter l'inconvénient principal de l'enroulement continu, consistant dans la grandeur des pertes dans les shunts.

Par suite du faible nombre de lames (fig. 5), les pulsations du champ donnent un facteur de magnétisation μ moins bon que dans l'enroulement précédent, 1,4 à 1,6 : mais il y a au contraire une notable réduction du facteur de résistance due à ce fait que les balais forment à eux seuls court-circuit entre les phases de l'enroulement sauf pendant une fraction de temps ζ, ce qui réduit l'action du facteur de résistance ρ à $\zeta\rho = \rho'$; d'où $E_c = E_r\ \mu\ (1 + \zeta\rho)$, et compense l'augmentation de μ.

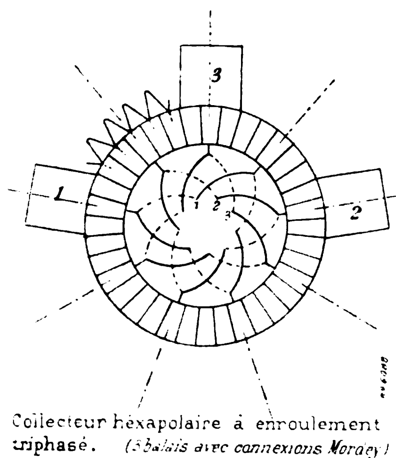
D'autre part, les pertes par glissement deviennent proportionnelles à

$$g_c = g_r\ (1 + \zeta\rho),$$

et les pertes dans les shunts égales à

$$P_s = P_r\ \mu^2\ \frac{(1 + \rho\zeta)^2}{\rho}$$

ζ pouvant être pris très petit, ce mode d'enroulement, indépendamment de sa simplicité, est beaucoup plus avantageux que l'enroulement continu puisque les pertes peuvent en être très



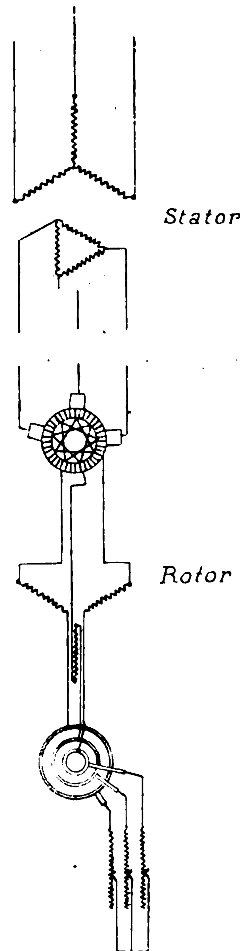
Collecteur hexapolaire à enroulement triphasé. (3 balais avec connexions Mordey)

Fig. 6.

réduites. La figure 6 montre la vue d'un collecteur hexapolaire, avec connexions Mordey : le nombre des lames est de 4 entre les points de jonction de deux phases, les balais couvrent trois lames, et ζ est très voisin de 0.

La figure 6 montre qu'on peut placer les balais arbitrairement tout le long de la périphérie du collecteur, ce qui permet de les prendre larges tout en les espaçant encore suffisamment.

Ce mode d'enroulement est, à cause de sa grande simplicité, le plus adopté pour les moteurs ; de plus il permet un facile démarrage.



Connexions de démarrage pour moteurs à rotor triphasé

Fig. 7.

Les trois phases du rotor sont (fig. 7) reliées par une extrémité au collecteur et par l'autre à trois bagues, entre lesquelles au démarrage on intercale des résistances, le collecteur fonctionnant alors comme point neutre ; en marche normale, les trois bagues en court-circuit constituent à leur tour le point neutre.

3° *Enroulement triphasé différentiel.* — Les propriétés caractéristiques de l'enroulement triphasé ont conduit à une disposition spéciale

d'enroulement qui, tout en possédant un coefficient de magnétisation aussi favorable que celui de l'enroulement continu reste continuellement

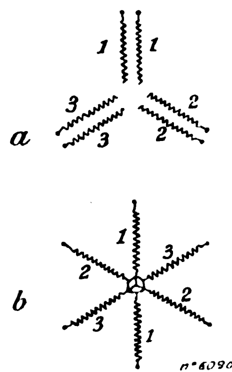


Fig. 8.

en court-circuit par les balais, sans nécessiter l'intervention de shunts entre les lames du collecteur.

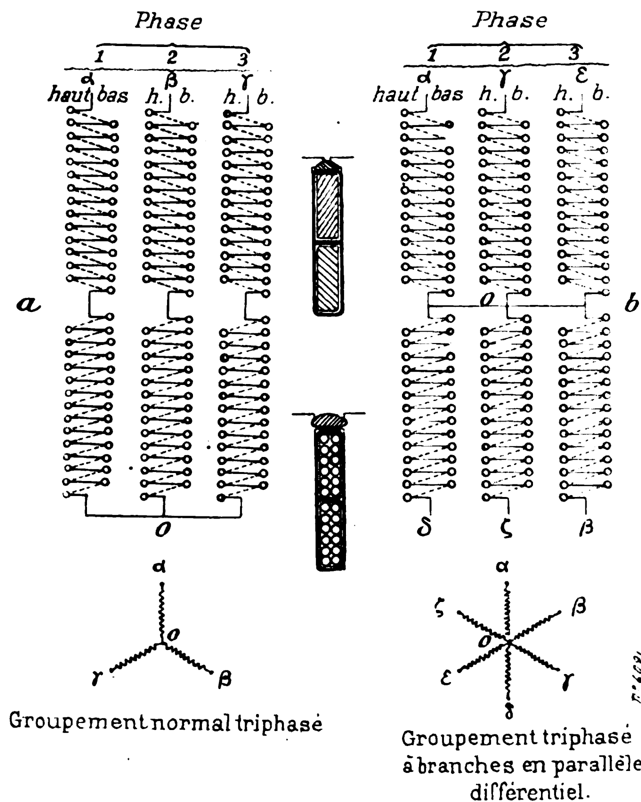


Fig. 9

Cet enroulement se compose pour chaque phase de deux branches enroulées en parallèle (fig. 8 *a*) et groupées en étoile en sens inverse (fig. 8 *b*). Les deux branches en opposition sont situées dans les mêmes encoches, et quand le

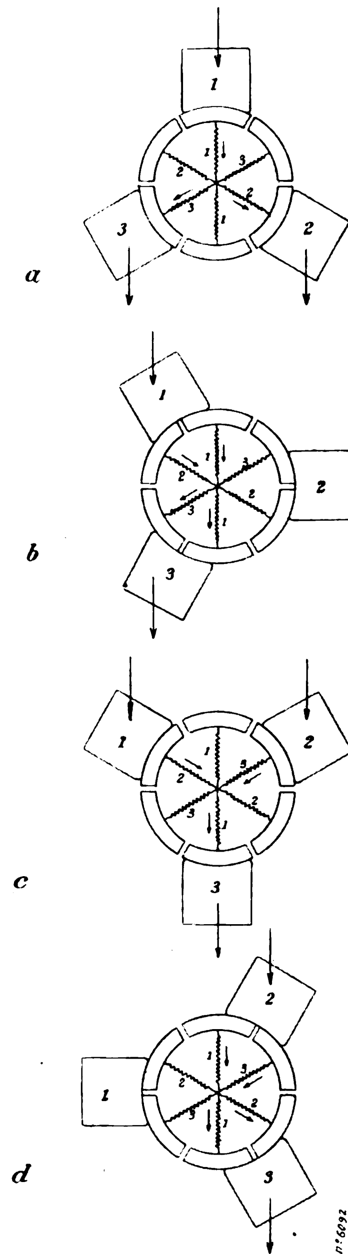
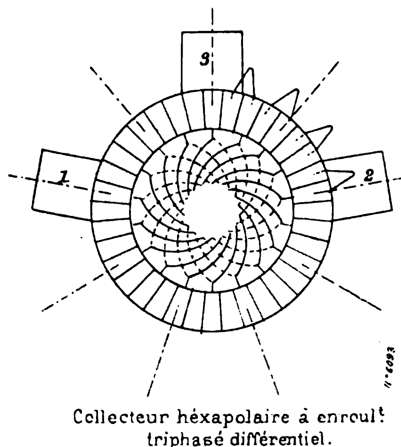


Fig. 10.

balai passe de l'une à l'autre l'induction mutuelle de la branche où naît le courant détruit la self-induction de la branche où le courant cesse, ce qui permet de réaliser la commutation sans étin-

celles avec un petit nombre de lames de collecteur, sans shunts entre les lames.

On obtient facilement un enroulement de ce genre par une transformation très simple de l'enroulement tambour en deux couches, chaque spire comportant un fil dans la couche supérieure et un fil dans la couche inférieure : au lieu de faire les connexions ordinaires de la figure 9 *a*, on constitue le point neutre commun des deux étoiles inverses au milieu de l'enroulement et on dispose les phases suivant le schéma de la figure 9 *b*.



Collecteur héxapolaire à enroul^t triphasé différentiel.

Fig. 11.

Un coup d'œil sur les différentes parties de la figure 10 montre que suivant les instants considérés, on a en prise une seulement ou deux des branches en parallèle ; quand le courant est le même dans deux branches en parallèle, l'action de cette phase est nulle. Il y a toujours un des deux enroulements en court-circuit et les shunts entre lames peuvent être supprimés ou choisis assez résistants ; nous les négligerons dans ce qui va suivre.

Le facteur de magnétisation de cet enroulement est à peu près égal à celui de l'enroulement continu :

$$\mu = 1{,}2 \text{ à } 1{,}4.$$

Le facteur de résistance réduit ρ'' est nul quand les balais reposent sur deux lames, il est égal à 1 pendant le temps ζ où les balais ne touchent qu'une lame (position *a* et *c* de la figure 10), sa moyenne est ζ. On a donc :

$$E_c = E_r \mu (1 + \zeta)$$

$$P_c = P \mu (1 + \zeta)$$

$$g_c = g_r \mu (1 + \zeta)$$

$$P_x = 0.$$

La figure 11 donne le schéma d'un collecteur hexapolaire avec connexions Mordey et trois balais et la figure 12 le schéma des connexions de la machine correspondante. On peut y ajouter des shunts qui n'ont d'ailleurs pas besoin de former

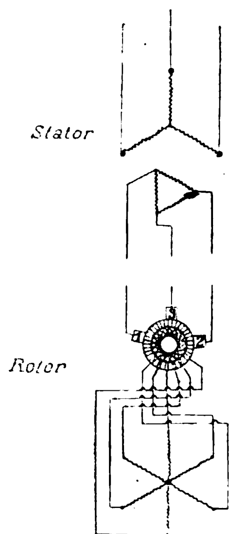
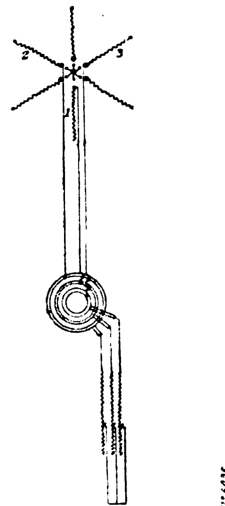


Fig. 12.



Connexions de démarrage pour moteurs à rotor muni d'un enroulement triphasé différentiel.

Fig. 13.

un court-circuit complet, mais peuvent se contenter de relier les lames de jonction avec l'enroulement aux lames voisines.

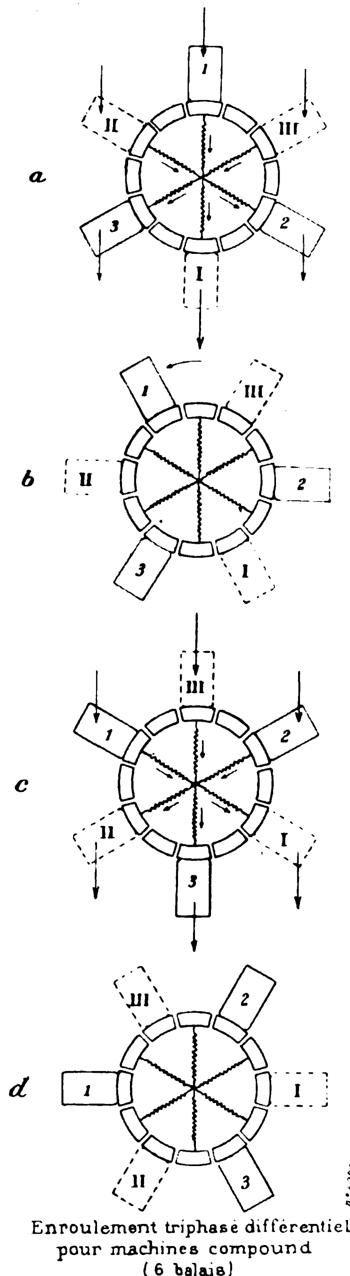


Fig. 14.

Ce mode d'enroulement est surtout utilisé pour les générateurs.

Quand on l'emploie pour des moteurs avec trois bagues de démarrage, il faut pendant le démarrage ouvrir les enroulements, relier à trois bagues l'une des extrémités d'un enroulement, et munir le moteur d'un dispositif de court-circuit sextuple simultané au point neutre, qu'on manœuvre quand le démarrage est effectué (fig. 13).

Les figures 14 et 15 montrent l'application de ce mode d'enroulement à des génératrices compoundées, avec six balais : dans ce cas, le facteur de magnétisation reste 1,2 à 1,4, mais les shunts reviennent en considération pendant le

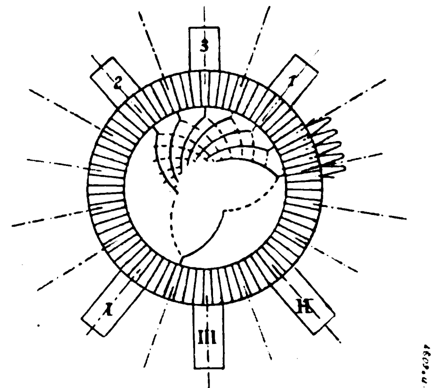


Fig. 15.

temps d'interruption ζ, comme dans l'enroulement triphasé simple. Les formules principales deviennent :

$$\rho = \frac{r}{R}$$

$$E_c = E_r \mu (1 + \rho\zeta)$$

$$P_s = P_r \mu^2 \frac{(1 + \rho\zeta)^2}{\rho}.$$

4° *Enroulement triphasé quadruple différentiel.* — Dans cet enroulement, utilisé surtout pour les génératrices compoundées, chaque phase se compose de quatre parties enroulées en parallèle, reliées par une de leur extrémités respectivement à deux étoiles et à deux triangles inverses et par l'autre en douze points d'un collecteur à douze lames pour deux pôles, comme le montre la figure 16.

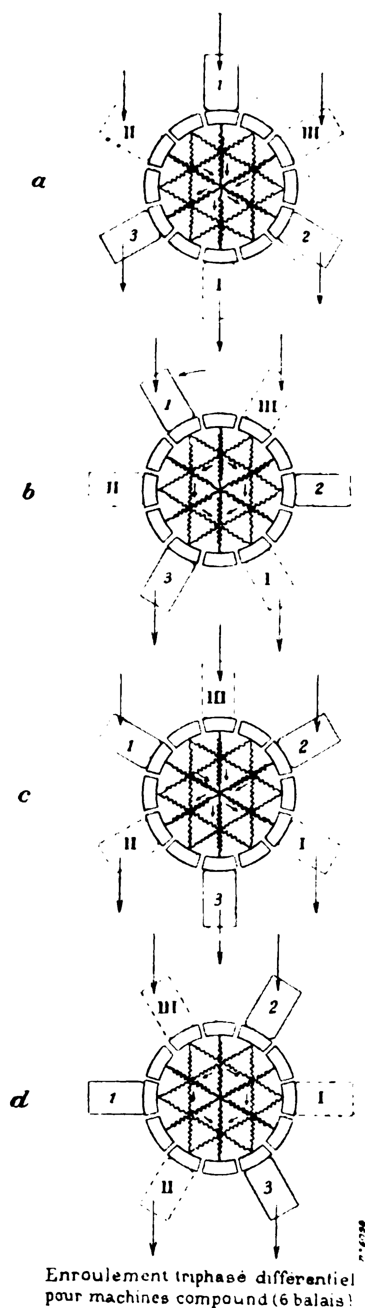
Les équations principales correspondantes sont

$$\rho'' = \zeta,$$

$$E_c = E_r \mu (1 + \zeta);$$

$$P_s = 0.$$

La figure 17 donne le schéma d'un collecteur hexapolaire pour cet enroulement : la largeur des balais ne doit pas dépasser trois lames pour que β soit supérieur à o.

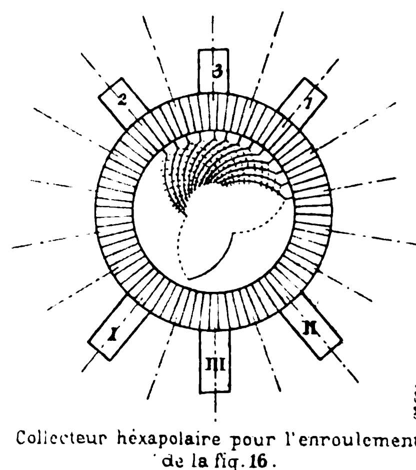


Enroulement triphasé différentiel pour machines compound (6 balais)

Fig. 16.

D. Connexions pour le compoundage. — Pour le compoundage on emploie soit l'enroulement de la figure 14, soit l'enroulement de la figure 16 : le second est préférable au point de vue des pertes, mais le premier étant beaucoup plus simple est le plus fréquemment utilisé ; il s'applique d'ailleurs soit à une machine compensée, soit à une machine compoundée et avec une très légère modification à un moteur muni de bagues de démarrage.

Le schéma de montage d'une machine compound [1] est ordinairement exécuté suivant la



Collecteur héxapolaire pour l'enroulement de la fig. 16.

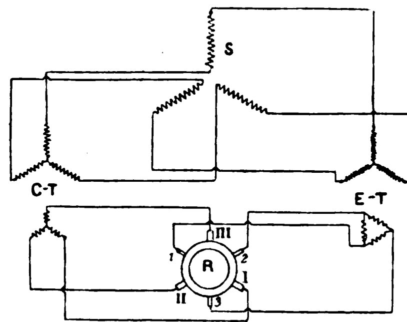
Fig. 17.

figure 18, au moyen de 6 balais, trois pour l'excitation et trois pour le compoundage et de deux transformateurs, un transformateur de compoundage intercalé en série dans le circuit principal et un transformateur d'excitation avec secondaire en triangle disposé de façon à produire une tension d'excitation décalée de 90° sur la tension aux bornes et coïncidant par suite avec le champ.

On peut réduire à trois le nombre des balais en employant le dispositif de la figure 19. Une résistance constante est intercalée dans le circuit d'excitation et on augmente en conséquence la tension du transformateur d'excitation. On règle la machine, c'est-à-dire le transformateur de compoundage C-T, pour qu'il fournisse seul, en marche sous charge *purement* inductive, l'excitation et le compoundage, le transformateur d'excitation ne produisant pas de courant. On démontre alors que pour un choix convenable de la résistance, l'excitation résultante reste constante pour toutes les charge inductives.

[1] Cf. *Écl. Électrique*, 1er mars 1902, t. XXX, p. 313.

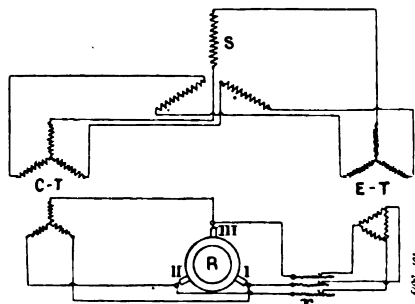
Soient J_c et J_e les courants respectifs des transformateurs de compoundage et d'excitation, n_r



Connexions de compoundage avec 6 balais

Fig. 18.

un facteur dépendant du nombre de spires, de la dispersion et des pertes du rotor, J le courant de charge du stator, n_s un facteur analogue



Connexions de compoundage avec 3 balais

Fig. 19.

à n_r pour le stator, les ampèretours magnétisants du rotor et les contre-ampères-tour du stator, ϑ_r et ϑ_s, sont respectivement :

$$\vartheta_r = (J_c + J_e) n_r$$
$$\vartheta_s = J n_s.$$

La tension et le champ devant rester constants, la condition de compoundage est :

$$\vartheta_r - \vartheta_s = (J_c + J_e)\, n_r - J n_s = \text{constante.}$$

Désignons par R la résistance du rotor, par x la résistance fixe du circuit d'excitation, E la tension constante aux bornes secondaires du transformateur d'excitation et ν le rapport de transformation du transformateur de compoundage, il vient :

$$J_c = \nu J,$$
$$E = (J_c + J_e)\, R + J_e x,$$

d'où

$$J_e = \frac{E - \nu RJ}{R + x}\ ;$$

la condition de compoundage devient donc :

$$n_r \frac{E}{R + x} + J\left(\nu n_r \frac{x}{R + x} - n_s\right) = \text{constante.}$$

J variant avec la charge, il faut évidemment que le terme entre parenthèses soit nul :

$$\nu \frac{n_r}{n_s} = \frac{R + x}{x}.$$

L'excitation constante pour la charge déwattée, quand J_c devient nul, est donnée par la différence

$$J_e n_r - J n_s\ ;$$

l'excitation à vide est au contraire

$$n_r \frac{E}{R + x}.$$

Le réglage se fait en deux fois : on commence par régler le transformateur de compoundage de façon à ce qu'il fournisse seul l'excitation nécessaire pour la marche à tension normale sous charge purement inductive : la tension aux balais doit alors être sensiblement égale à la tension E du transformateur d'excitation ; on fait alors fonctionner la machine à vide et on règle la résistance x pour que le courant d'excitation donne la tension normale.

Cette seconde méthode plus simple que la première donne lieu à des pertes plus grandes : le transformateur de compoundage doit être suffisant pour fournir seul l'excitation et le compoundage, et le transformateur d'excitation augmenté dans le rapport $\frac{x + R}{R}$, le rapport $\frac{x}{R}$ devant être égal au rapport du courant de compoundage au courant d'excitation.

On sait d'ailleurs que le compoundage ne porte que sur les courants déwattés, la compensation donnant déjà le compoundage des courants wattés.

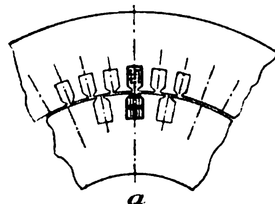
E. Détails d'exécution. — La figure 20

donne le détail des dentures de divers types de machines compensées ou compoundées, dont les poids de cuivre et de fer, les dimensions du collecteur et les pertes sont consignées dans le tableau de la page suivante :

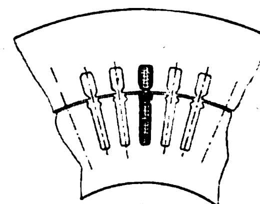
Dans les moteurs compensés, l'utilisation de la place pour l'enroulement est excellente, et on obtient une puissance de 50 p. 100 supérieure à celle des moteurs ordinaires : le cos φ réglé pour la valeur 1 à vide reste sensiblement égal à cette valeur jusqu'à la charge normale.

Les générateurs compoundés sont généralement établis à 6 encoches par pôle, sauf le générateur bipolaire anormal de 500 kilovolts-ampères sous 2400 tours : minute à 40 périodes, qui en comporte 12.

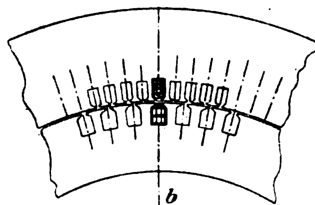
Malgré les difficultés inhérentes à la construction des machines à marche lente et à grand diamètre, en particulier à cause du grand entrefer, l'auteur estime que la compensation et le compoundage ainsi réalisés seraient très favorables; l'essai n'en a pas été fait, étant donné le prix relativement élevé de machines de ce type et la dépense énorme qui en résulterait pour de simples essais.



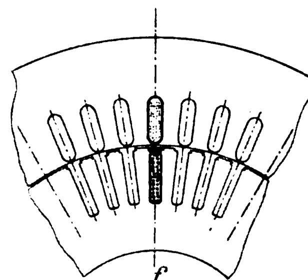
Moteur asynchrône compensé
40 chx. 1000 T. 500 V. fréq. 50. 6 pôles



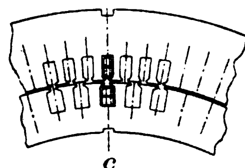
Générateur asynchrône compoundé
50 KVA. 750 T. 1000 V. fréq. 50. 8 pôles.



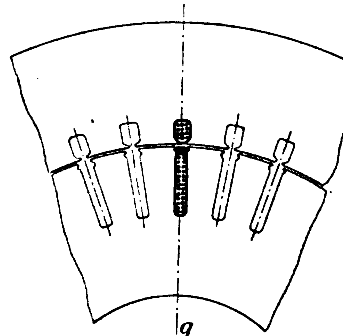
Moteur asynchrône compensé
60 chx. 500 T. 500 V. freq. 43. 10 pôles.



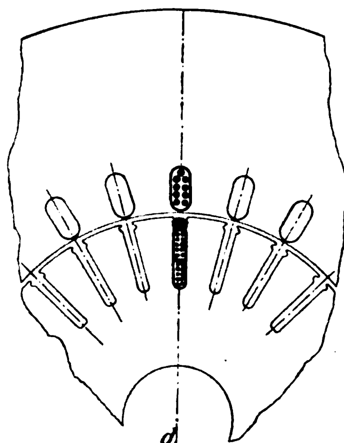
Générateur asynchrône compoundé
50 KVA. 750 T. 3600 V. fréq. 50. 8 pôles.



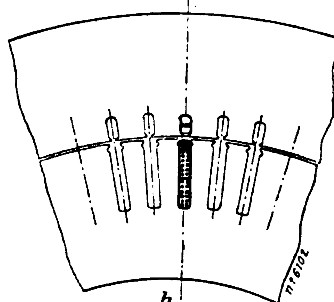
Moteur asynchrône compensé
120 chx. 600 T. 600 V. fréq. 60. 12 pôles



Générateur asynchrône compoundé
100 KVA. 500 T. 1000 V. fréq. 25. 6 pôles.



Générateur asynchrône compoundé
500 KVA. 2400 T. 2100 V. fréq. 40. 2 pôles



Générateur asynchrône compoundé
250 KVA. 500 T. 500 V. fréq. 50. 10 pôles

Fig. 20.

F. Collecteurs en court-circuit sans connexions en court-circuit entre lames. — L'emploi des shunts entre lames présente souvent de grandes difficultés pratiques, surtout dans les machines à grand nombre de pôles et à résistance assez grande de l'enroulement du rotor : dans ce cas les shunts entre lames étant somme

DÉSIGNATION	PUISSANCE en kilovolts-ampères.		TÔLES du stator et du rotor en kgs.	CUIVRE du stator et du rotor en kgs.	POIDS de fer par KVA.	POIDS de cuivre par KVA.	COLLECTEUR		PERTES dans le fer en p. 100.	PERTES dans le cuivre en p. 100.
							Diamètre en mm.	Largeur en mm.		
a	33 (40 chev.)	machines compensées cos φ = 1	250	118	7,5	3,6	200	70	6	4
b	50 (60 chev.)		485	164	9,7	3,3	250	80	5	3
c	100 (120 ch.)		410	245	4,1	2,5	250	80	4	3
d	500		3 100	320	6,2	0,64	200	260	3	2
e	50	machines compoundées	485	152	9,7	3,03	200	100	5	7
f	50		550	200	11,2	4,0	200	100	6	5
g	100		1 730	270	17,3	2,7	200	100	5	4
h	250		2 610	462	10,4	1,84	300	150	5	3

toute groupés en parallèle par les connexions Mordey du collecteur, doivent être établis avec des résistances assez considérables, c'est-à-dire sous faible section et grande longueur, ce qui n'est pas facile à réaliser sur un collecteur.

Il est évidemment facile de supprimer un certain nombre de ces shunts, pourvu qu'on ait

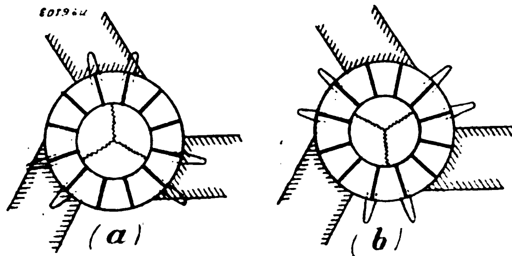


Fig. 21.

soin de donner aux lames non reliées entre elles une épaisseur totale inférieure à celle d'un balai, comme le représentent les figures 21 *a* et 21 *b*. Dans la position *a* les shunts sont court-circuités par les balais, et ce n'est que dans la position de commutation *b* qu'ils offrent un circuit dérivé au courant des balais.

La figure 22 représente un collecteur hexapolaire avec la moitié des shunts supprimés, l'enroulement *w* est relié aux connexions Mordey.

Si on désigne par ξ le facteur de court-circuit, c'est-à-dire la partie du temps de la commutation dans la position *b* où les balais court-circuitent les shunts, les équations principales deviennent pour ce dispositif d'enroulement :

$$E_c = E_r \mu (1 + \rho\zeta)$$

$$P_s = P_r \mu^2 \frac{(1 + \rho\zeta)^2}{\rho} \xi.$$

Les pertes dans les shunts sont encore réduites dans le rapport ξ, et comme on peut faire ζ et ξ

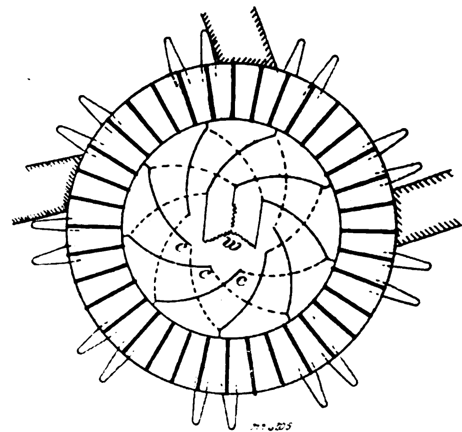


Fig. 22.

très petits, peuvent devenir absolument négligeables, bien qu'on adopte des valeurs de ρ assez faibles.

On peut d'ailleurs supprimer complètement

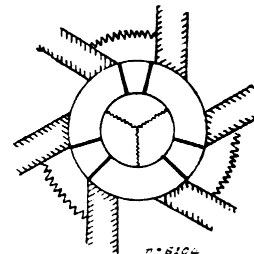


Fig. 23.

les shunts, entre lames, en remplaçant chaque balai, par deux balais de largeur et d'écartement convenables (fig. 23), reliés entre eux par une

résistance très facile à régler pour obtenir un excellent fonctionnement : mais ce dispositif est pratiquement beaucoup plus complexe que le premier, et n'est pas à conseiller. A. M.

Le condensateur électrodynamique, par **James Swinburne**. *Electrician*, t. L, p. 930, 27 mars 1903.

Le condensateur électrodynamique de M. Swinburne est destiné non pas, comme on pourrait témérairement le supposer, à condenser l'électricité d'une façon quelconque, mais à produire un courant décalé d'un quart de période en avant de la force électromotrice. C'est en raison de cette seule analogie avec les condensateurs ordinaires que l'inventeur lui a donné ce nom.

La théorie de la machine est très simple. Une bobine de fil de cuivre est suspendue de façon à pouvoir vibrer dans un champ intense. L'aimant inducteur A (fig. 1) est en acier doux, B est la bobine d'excitation et C la bobine induite. Cette dernière est fixée à de faibles ressorts qui tendent à la maintenir à mi-hauteur de l'entrefer circulaire, dans la position qu'indique la figure.

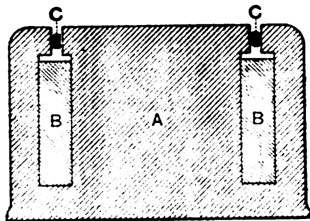


Fig. 1.

La tension instantanée e aux extrémités de la bobine doit, en négligeant la résistance, être proportionnelle au flux coupé par les conducteurs et par conséquent proportionnelle à la vitesse de la bobine. On a donc

$$e = k\frac{dx}{dt}$$

k étant une constante, x la distance dont s'est déplacée la bobine, t le temps.

A la vitesse $\frac{dx}{dt}$ correspond une certaine accélération. Le courant instantané prend de lui-même la valeur nécessaire i pour donner lieu à cette accélération. On a donc :

$$i = l\frac{d^2x}{dt^2}$$

l étant une constante. Le courant varie donc comme la vitesse de variation de la tension, ou :

$$i_i = m\frac{de_i}{dt}$$

m étant une autre constante. Cette relation est celle qui existe entre le courant et la tension dans un condensateur ; la machine se comporte donc comme un condensateur.

Dans ces équations, les constantes dépendent du flux d'induction $\mathfrak{B}$; les relations ne sont donc exactes que tant que la bobine reste dans le champ. Il est évident que l'intensité deviendra énorme si la bobine sort de l'entrefer.

Le principe est le même que celui d'un galvanomètre à bobine mobile dont la bobine est suspendue de façon à pouvoir tourner librement. L'auteur a fait remarquer il y a bien des années qu'un appareil de ce genre pourrait servir de galvanomètre balistique ou de coulombmètre. Il mesurerait soit $\int edt$, soit Q (au moyen d'un shunt), tant que leurs valeurs ne dépasseraient pas sa capacité. Si la bobine est enroulée sur un noyau de cuivre, l'appareil mesurera Q sans shunt extérieur. De même, un petit moteur dont l'armature tourne librement mesurera Q s'il est muni d'un frein ; s'il n'en a pas, il mesurera $\int edt$. Ce type de compteur, sans frein tournant, a reçu une application industrielle. Le compteur O'Keefe est bien connu.

L'exemple suivant donnera une idée des dimensions et de la puissance d'un condensateur électromagnétique. Prenons les données suivantes :

Induction $\mathfrak{B} = 16\,000$ C. G. S.
Fréquence $f = 50$ périodes par seconde.
Déplacement de la bobine $= 4$ cm.
Nombre de tours $n = 20$.
Section totale du cuivre $= 1$ cm².

En négligeant l'isolant, la masse m du cuivre est alors de 1410 gr, si le rayon de la bobine $r = 25$ cm. Comme la bobine se déplace de 8 cm par période et que la fréquence est 50, la vitesse moyenne est de 400 cm : sec. La tension électrique moyenne est alors :

$$e_{moy.} = 10^{-8}\, 2\pi nr\mathfrak{B}\frac{dx}{dt} = 200 \text{ volts.}$$

Si la tension varie harmoniquement, sa valeur efficace est donc $200 \times 1{,}11 = 222$ volts.

Comme l'accélération est la vitesse de variation de la vitesse et que la vitesse varie avec la tension instantanée, si la tension instantanée varie comme le sinus d'un angle, le courant doit varier comme le cosinus de cet angle, de sorte qu'il est décalé en avant de la tension comme dans un condensateur, et l'accélération suit naturellement aussi une loi harmonique.

La vitesse moyenne de la bobine est 400, sa vitesse maxima est donc $400 \frac{\pi}{2} = 630$ cm : sec. Elle atteint cette vitesse en un quart de période, de sorte que son accélération moyenne est 126 000 cm : sec^2. D'après la formule qui donne l'intensité :

$$i = \frac{10\, m \frac{d^2x}{dt^2}}{2\pi r n \mathfrak{B}},$$

on trouve que le courant moyen est de 35,25 ampères, et le courant efficace de 39 ampères. La puissance apparente est donc 8 600 watts et la perte dans l'armature environ 2 p. 100.

Cette machine ne convient évidemment pas aux bases fréquences. M. Leblanc a cependant employé une dynamo ou un moteur comme condensateur pour des fréquences très basses, Le principe est exactement le même. La dynamo, sans charge extérieure, tourne alternativement dans un sens et dans l'autre. P. L.

L'accumulateur Edison. *Elektrochemische Zeitschrift*, t. X, p. 7, avril 1903.

A l'occasion de l'exposition d'automobiles de New-York, la presse américaine s'occupe actuellement de l'accumulateur Edison qui était présenté à cette exposition.

Le bac de cet élément est en tôle d'acier. Afin d'augmenter sa solidité mécanique, on l'a ondulé sur les deux tiers de sa hauteur, ainsi que le montre la figure 1, qui en est une vue extérieure. Les plaques entrent exactement dans ce bac et appuient par leurs bords verticaux contre des cadres en ébonite qui sont munis de sillons de distance en distance. Elles reposent sur quatre tasseaux en ébonite et sont séparées les unes des autres par des bandes en ébonite. Sur la figure 2, qui représente une coupe de l'élément, on a marqué en noir toutes les parties en ébonite.

Les plaques consistent en quadrillages minces en tôle d'acier dans les alvéoles desquels sont comprimées hydrauliquement des briquettes de fer et graphite (négatives) et de nickel et graphite (positives) (1).

Les plaques de même polarité sont reliées entre elles et réunies à une prise de courant qui traverse le couvercle dans une pièce isolante. Dans le couvercle existent encore deux autres ouvertures, l'une pour le remplissage, l'autre pour le dégagement des gaz. La soupape de gaz est munie d'un capuchon en forme de champignon; elle ferme les deux canaux par

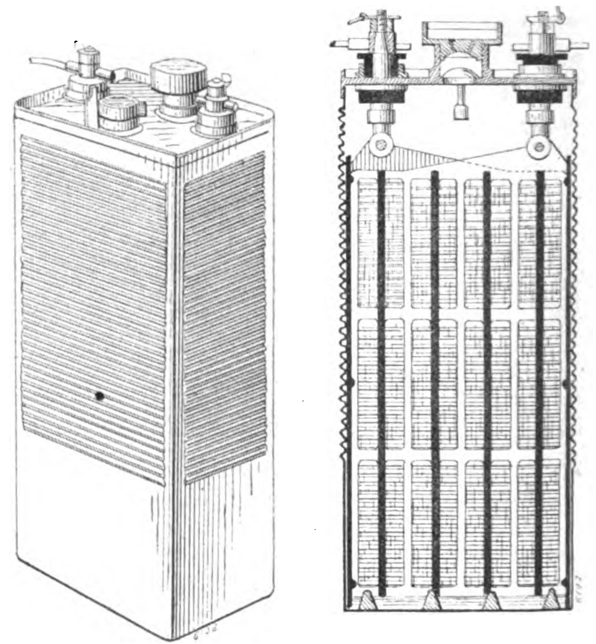


Fig. 1 et 2.

lesquels passent les gaz lorsque l'élément est renversé et évite ainsi la sortie du liquide.

La fine gaze métallique qui recouvre l'orifice extérieur de la soupape empêche, d'après le principe de la lampe de sûreté de Davy, la rentrée de la flamme si les gaz sont enflammés à la sortie. Le bord du couvercle est si bien ajusté au bac que celui-ci est fermé hermétiquement aux gaz et au liquide. Au dispositif de remplissage, on a établi un entonnoir avec plongeur, de sorte qu'on peut lire immédiatement à quel niveau se trouve le liquide.

Les éléments exposés pouvaient donner 160 ampères-heure à la tension moyenne de

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXVIII p. 1.

1,3 volt par élément, soit 200 watts-heure. Ils pouvaient sans dommage être déchargés jusqu'à o volt. Habituellement, on ne laisse pas descendre plus bas que 0,75 volt par élément. Chaque accumulateur possédait 24 plaques de dimensions 240×120 mm et 2,5 mm d'épaisseur.

Une plaque d'un élément ayant fourni 4960 km sur une voiture, ne se distinguait de celle d'un élément neuf que par une faible coloration jaune. Les plaques supportaient sans détérioration une intensité de décharge de 200 ampères.

Actuellement, des essais sont encore effectués sur voitures, à New-York. Si ces essais sont favorables, les accumulateurs seront lancés prochainement sur le marché.

L. J.

APPAREILLAGE

Commande Siemens et Halske pour le sens de rotation d'un moteur à courant continu. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 126, 15 mars 1903.

Le changement de sens de rotation d'un moteur se fait en inversant le sens du courant soit dans l'induit, soit dans l'inducteur. Lorsque la commande doit se faire au point de distribution même du courant, il est nécessaire d'employer

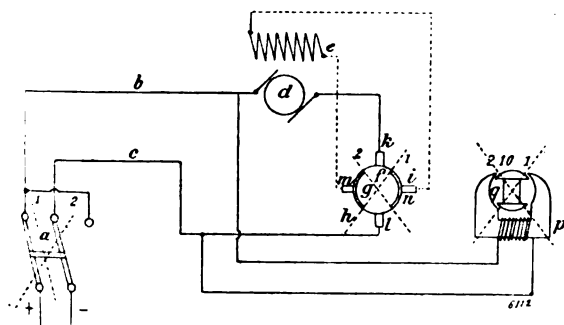


Fig. 1.

quatre fils (deux pour l'induit et deux pour l'inducteur) pour aller jusqu'au moteur. Cela peut, lorsque la distance est grande, occasionner une dépense importante.

Le dispositif préconisé par Siemens et Halske permet de n'employer que deux fils. La figure 1 représente le schéma des connexions dans le cas d'un moteur-série.

Au point de distribution est placé un inverseur *a*, d'où partent les deux conducteurs *b* et *c* reliés par l'induit *d*, l'inducteur *e* et le dispositif de commutation. Ce dernier appareil se compose d'un commutateur proprement dit *f* commandé par un système magnétique *q*.

Le commutateur est constitué par un cylindre isolant *g* portant deux pièces de contact *h* et *i* sur lesquelles glissent d'une part les deux balais *k* et *l* reliés à l'induit *d* et au conducteur *c* et d'autre part les deux balais *m* et *n* reliés à l'inducteur. Ce cylindre est solidaire d'un aimant permanent *o* mobile autour de son axe entre les bras d'un électro *p* en dérivation sur les conducteurs principaux. L'aimant est ramené dans la position moyenne par un ressort lorsqu'aucun courant ne traverse l'électro. Lorsque le courant passe et, suivant le sens de celui-ci, l'aimant *o* est attiré dans un sens ou dans l'autre et le commutateur réunit soit *mk* et *nl* soit *ml* et *nk*. De cette façon l'inversion du courant en *a* ne produit de changement que dans l'induit, le sens du courant inducteur restant invariable.

On peut tout aussi bien obtenir que le courant change dans l'inducteur et reste toujours de même sens dans l'induit. La même disposition s'applique au cas d'un moteur shunt. L'électro *p* peut être en série dans l'un des conducteurs *b* et *c*, enfin l'aimant permanent peut être remplacé par un électro excité à part. G.

Commutateur automatique pour instruments de mesure. **Elektricitæts Aktien-G.** primitivement **Schuckert et C**[ie]. *Elektrotechnische Rundschau*, t. XX, p. 123, 15 mars 1903.

Pour la mesure exacte de quantités d'énergie qui varient entre des limites étendues, il est nécessaire d'employer deux instruments de mesure que l'on insère suivant la charge. Le changement d'appareil se fait ordinairement à l'aide d'un commutateur à contacts de mercure. La Société Schuckert a construit un commutateur automatique à contacts métalliques qui fait l'échange des appareils de mesure avec une grande exactitude pour une intensité déterminée.

Sur un panneau de matière isolante (fig. 1) sont disposés cinq contacts *a*, *b*, *c*, *d* et *e* dont deux *b* et *d* sont reliés à un solénoïde à bobine de fil fin *f* tandis que deux autres *c* et *e* sont les extrémités de l'enroulement *g* constitué par une bande métallique. Le noyau K du solénoïde se meut à l'intérieur de ces deux enroulements; sa partie inférieure *i* commande le ressort de

contact l qui relie a soit à b soit à c; la disposition évidée de la pièce i permet le déplacement du noyau sur un certain parcours avant qu'il entraîne le contact l.

Le solénoïde est entouré d'une solide boîte de fonte o munie à la partie supérieure d'une vis de réglage p.

Le contact a est relié à l'un des conducteurs,

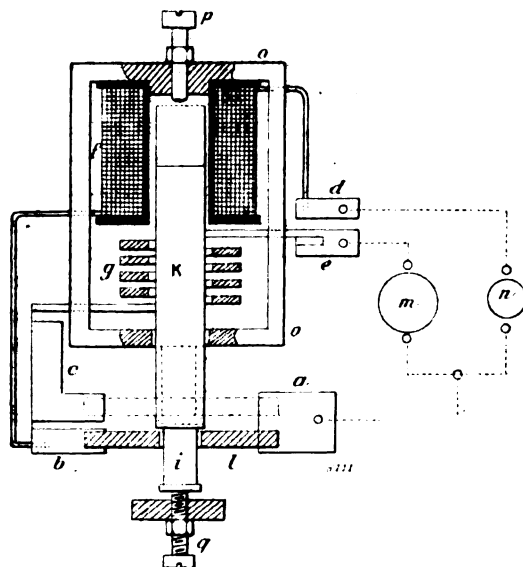


Fig. 1.

d avec le plus petit instrument n et e avec l'autre m. Le deuxième conducteur est amené à ces deux appareils.

Dans la position représentée par la figure 1, la liaison l met en communication a et b, le courant de distribution traverse donc la bobine de fil fin f et le plus petit n des appareils de mesure. Si l'intensité augmente et dépasse une certaine valeur, le noyau K est attiré brusquement par le solénoïde, il effectue sans effort une partie du chemin, sa force vive augmente et en fin de course il entraîne la liaison l de ab sur ac; l'enroulement g est aussi inséré dans le circuit à la place de la bobine f et l'appareil m remplace n.

La force due à g et qui maintient le noyau est de très peu supérieure au poids de celui-ci ; de sorte que si le courant diminue le noyau retombe et ramène les contacts dans la position primitive.

Le réglage de l'appareil est effectué au moyen des vis p et q.

Ce dispositif Schuckert peut entre autres servir à la manœuvre d'un compteur à double tarif.

G. G.

DIVERS

Sur l'ionisation de l'air produite par une pointe électrisée, par **A. Righi**. *Accademia delle Scienze dell Instituto di Bologna*, t. X, 11 janvier 1903.

L'auteur a décrit autrefois des expériences montrant que les particules électrisées émises par une pointe prennent un mouvement progressif suivant les lignes de force. La théorie de l'ionisation n'existait pas ; l'auteur avait émis l'hypothèse d'un transport ou d'une convection électrique des molécules de l'air. On admet maintenant qu'au voisinage de la pointe, là où la force électrique est maxima, il y a une ionisation continue des molécules de l'air par suite des chocs qu'elles reçoivent de la part des ions. Cette action est commencée par les ions qui existent toujours en petite quantité dans l'air et continuée par ceux qui se produisent ainsi graduellement.

Mais c'est seulement si un ion a une vitesse supérieure à une certaine valeur critique qu'il peut fournir, avec sa propre énergie cinétique, l'énergie nécessaire pour séparer les ions de la molécule heurtée. Ce n'est donc que là où le champ a une intensité assez grande qu'un ion peut d'un choc à un autre acquérir une vitesse suffisante pour provoquer l'ionisation.

Au voisinage d'une pointe électrisée, le champ a précisément son intensité maxima ; c'est là que les ions par leurs mouvements donnent naissance à de nouveaux ions ; dès que l'on s'écarte un peu de cette région, les ions dont la charge est de même nom que celle de la pointe s'en écartent, mais tout en heurtant les molécules ils ne produisent plus de nouveaux ions. L'effet de ces chocs est de diminuer la vitesse des ions pour en donner aux molécules qui produisent ainsi le *vent électrique*.

Suivant les idées modernes, la convection suivant les lignes de force est donc effectuée, non plus par les molécules d'air électrisées, mais par des ions ayant une charge de même nom que la pointe.

La trajectoire parcourue par les ions ne peut coïncider qu'approximativement avec les lignes de force ; dans certaines circonstances, par

exemple lorsque la courbure de ces lignes est prononcée, il peut arriver que les ions s'en éloignent au point d'abandonner la région où les lignes de force existent pour passer dans une autre où le champ est sensiblement nul. Les expériences qui font l'objet de ce mémoire se rapportent précisément à ce cas :

Une pointe métallique électrisée est enfermée dans une enceinte conductrice, la pointe est tournée vers une région de la paroi munie de petits trous. Les lignes de force se terminent sensiblement toutes sur le conducteur en s'incurvant vers les bords des trous ; il est vraisemblable que les ions aient une vitesse suffisante pour se détacher alors de la ligne de force et sortir de l'enceinte.

Pour réaliser expérimentalement ce cas, M. Righi remplace la partie de l'enceinte vers laquelle est tournée la pointe par une toile métallique. En face et à l'extérieur est placé un disque métallique isolé, mis en relation avec un électromètre Thomson par un fil entouré d'un tube de fer blanc communiquant avec le sol. L'enceinte est elle-même reliée au sol.

On s'assure que le champ électrique existant entre la pointe et la toile métallique ne se fait pas sentir sensiblement au dehors ; à cet effet on remplace la pointe par une sphère et l'on donne à l'électromètre sa plus grande sensibilité, la boule étant chargée à un potentiel supérieur à celui des expériences. Dans ces conditions, l'auteur n'a pu observer la moindre déviation.

On calcule l'intensité du courant qui passe entre la toile et le disque, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui passe par seconde de l'un à l'autre. Les expériences mettent en évidence le passage des ions à travers la toile ; mais on observe un fait singulier en apparence, la quantité d'électricité recueillie par le disque pendant l'unité de temps croît d'abord avec la distance qui sépare le disque de la toile, passe par un maximum puis décroît.

Cette anomalie provient du fait que, dès que le disque commence à se charger, le champ électrique entre lui et la toile n'est plus nul et sa direction tend à faire diminuer le nombre des ions qui atteignent le disque, puisque ce dernier prend une charge croissante de même nom que les ions qui le frappent.

L'auteur a vérifié cette hypothèse en communiquant au disque une charge préalable. Si cette charge est de même nom que la pointe, le champ extérieur est de sens opposé au champ intérieur, et le nombre des ions recueillis par le disque pendant l'unité de temps diminue. Si la charge du disque est de nom contraire, les deux champs sont de même sens et le nombre des ions augmente.

Si l'on fait varier la durée pendant laquelle la pointe est en action, on constate que la marche anomale de l'intensité va en s'exagérant, le maximum a lieu pour des distances du disque d'autant plus grandes que le temps est plus prolongé.

Si l'on augmente la capacité du système formé par le disque et l'électromètre, en maintenant constant le temps d'action, on constate que la marche anomale s'atténue.

Ces expériences justifient l'explication donnée par M. Righi de la marche anomale signalée plus haut. On fera donc disparaître l'anomalie en empêchant le disque de se charger. A cet effet, on remplace l'électromètre par un galvanomètre très sensible, dont une borne est reliée au disque et l'autre est mise au sol. La rapidité avec laquelle l'intensité décroît quand on écarte le disque de la toile, confirme que, même avec la plus grande capacité (0,1 microfarad) employée dans les précédentes expériences, on n'est pas encore à l'abri de la cause d'erreur due à la charge du disque.

L'influence de cette charge est à noter soigneusement, car elle peut fausser les résultats, lorsque l'on mesure ainsi l'intensité au moyen de l'électromètre, méthode fréquemment employée.

Le champ électrique produit entre la toile métallique et le disque, par suite de la charge de celui-ci, ne peut ioniser l'air compris dans cet intervalle ; mais l'emploi du mélange de minium et de soufre permet de mettre en évidence le mouvement des ions suivant les lignes de force.

A cet effet, on remplace le disque métallique par un disque d'ébonite dont la face opposée à la toile métallique est recouverte d'étain, formant armature reliée à une sphère de laiton. La surface de l'isolant doit être soigneusement débarrassée de toute charge électrique et de toute trace d'humidité.

Si l'on fait agir la pointe pendant quelque temps, que l'on ôte ensuite la pièce d'ébonite

et qu'on la saupoudre avec le mélange de minium et de soufre, on ne constate aucune adhérence, à moins que la distance entre la toile métallique et l'ébonite ne soit extrêmement petite ; dans ce cas, on voit l'une des deux substances adhérer uniformément à la surface de l'isolant. Cet effet est dû à ce que les ions qui sortent de l'enceinte se diffusent parmi les molécules de l'air jusqu'à l'ébonite.

Le résultat devient tout à fait différent si, pendant que la pointe est électrisée, on crée un champ entre l'enceinte et l'ébonite en chargeant l'armature d'étain, de telle sorte que la direction de ce champ pousse les ions vers l'ébonite. Dans ce cas, les ions atteignent la lame isolante même à assez grande distance de l'enceinte, et les charges acquises par l'ébonite peuvent être rendues visibles par les poudres.

La figure obtenue sur l'ébonite représente un quadrillage identique à celui de la toile métallique, la poudre occupe de petits carrés qui correspondent aux vides de la toile ; entre eux l'ébonite est à découvert. Il est important de remarquer que les deux quadrillages ont les mêmes dimensions ; le déplacement des ions a donc lieu suivant les lignes de force qui sont, dans le cas de l'expérience, parallèles à la normale commune à la toile métallique et à la plaque isolante.

Le phénomène est d'autant plus net que l'expérience dure moins longtemps parce que les charges acquises par l'ébonite sous l'action des chocs des premiers ions modifient le champ ; les ions qui viennent ensuite sont repoussés par les parties de l'ébonite déjà électrisées, ils tendent alors à se porter vers les régions non électrisées et l'ébonite finit par être entièrement électrisée.

La même rapidité est nécessaire s'il s'agit d'obtenir sur l'ébonite l'ombre d'un objet interposée entre cette lame et la toile métallique : sans quoi le corps s'électrise pendant l'expérience et déforme les lignes de force.

Il peut arriver que dans les régions de la lame isolante qui ne sont pas frappées par les ions, il y ait adhérence de poudre de couleur différente de celle qui recouvre les régions électrisées ; cela ne prouve pas qu'il y ait là des charges de nom contraire, le phénomène est dû à l'attraction exercée par l'armature métallique placée derrière la lame, cette action peut disparaître si la lame est très épaisse.

L'expérience précédente ne se prête pas à une démonstration d'amphithéâtre. Pour obtenir un résultat visible à distance, on applique contre la toile métallique une pièce de carton noir découpé ; en saupoudrant ensuite l'ébonite avec le mélange électroscopique on voit nettement le contour de l'objet.

On peut faire des expériences semblables à celles qui ont été décrites plus haut, en plaçant la pointe électrisée verticalement au-dessus de la toile métallique ; au-dessous on dispose un disque métallique recouvert de papier, puis d'une couche de poudre de zinc. Le disque est chargé, et on le frappe légèrement à l'aide d'un petit bâton isolant ; la poudre se déplace de façon à recouvrir les parties qui correspondent aux vides de la toile métallique et abandonne les régions couvertes par les fils.

G. Goisot.

Le Gérant : C. **NAUD**.

Tome XXXV — Samedi 30 Mai 1903. — 10e Année. — N° 22

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

MÉTHODE

POUR LA

MESURE DU MOMENT D'INERTIE D'UN INDUIT DE DYNAMO

L'étude du ralentissement spontané d'un moteur tournant à vide, lorsqu'on supprime le couple moteur, peut fournir des résultats intéressants sur les frottements aux paliers, la résistance de l'air, les frottements des balais. Mais il faut, pour que ces calculs soient possibles, que le moment d'inertie soit connu.

Le calcul de cet élément, en partant des dimensions et des masses des parties tournantes, est pénible et incertain.

Les méthodes proposées pour le mesurer se réduisent, à ma connaissance, à deux :

1° Etude du ralentissement spontané de l'induit seul; puis du même induit chargé d'un volant de moment d'inertie connu.

Cette méthode sera souvent d'un emploi difficile ; elle n'est d'ailleurs pas parfaitement correcte, car l'addition d'une masse supplémentaire augmente d'une manière inconnue le couple de frottement.

2° Une méthode bien préférable, due à M. Routin [1], qui consiste à observer d'abord le ralentissement de l'induit, puis le même phénomène avec un couple retardateur supplémentaire et connu, produit par un petit frein à corde.

Je ne crois pas que l'on ait remarqué que l'étude du ralentissement spontané de l'induit, *le courant d'excitation étant maintenu*, conduit à une méthode très simple pour la détermination du moment d'inertie. Pendant ce ralentissement, l'induit est soumis à un couple

[1] *L'Éclairage Électrique*, t. IX, p. 169, 24 octobre 1896.

retardateur, fonction de la vitesse, dû aux frottements et à la dépense d'énergie dans le fer. Or il est facile d'avoir la valeur de ce couple en fonction de la vitesse par une expérience préliminaire ; il suffit de faire tourner le moteur à vide et de déterminer, pour diverses vitesses, le courant dans l'induit.

Soit donc une dynamo à courant continu, que nous ferons fonctionner comme moteur. *Le courant d'excitation sera maintenu invariable.* Faisons tourner le moteur à vide, et lorsqu'il a atteint une vitesse constante, mesurons sa vitesse angulaire ω et le courant dans l'induit i. Répétons la même mesure pour diverses valeurs de la vitesse, ce que l'on obtiendra en faisant varier la tension aux balais, ou ce qui revient au même, en laissant de la résistance au rhéostat de démarrage.

On pourra ainsi tracer un tableau numérique, ou une courbe, donnant i en fonction de ω.

Enfin, pour l'une des vitesses, ω, mesurons la tension aux balais E ; la force contre-électromotrice est

$$e = E - ri,$$

r étant la résistance de l'induit (le terme ri est souvent négligeable). Comme e est proportionnel à ω, on peut poser

$$e = a\omega,$$

a étant une constante qui est maintenant connue.

On a alors tout ce qu'il faut pour calculer, en fonction de la vitesse, le couple retardateur ; pour la vitesse ω, la puissance dépensée dans l'induit (autrement que par effet Joule) est

$$W = ei = a\omega i,$$

et le couple correspondant est

$$C = \frac{W}{\omega} = ai.$$

Cela posé, ayant lancé le moteur à une vitesse convenable, coupons le courant dans l'induit (le courant d'excitation étant maintenu), et observons le ralentissement. Soit T le temps nécessaire pour passer de la vitesse Ω à la vitesse o, et soit K le moment d'inertie. Dans cette partie de l'expérience, les pertes d'énergie sont, pour une même vitesse, les mêmes que dans les expériences précédentes ; pour la vitesse ω, le couple retardateur a la même valeur $C = ai$ calculée ci-dessus.

L'équation du mouvement est donc

$$-K\frac{d\omega}{dt} = ai,$$

dans laquelle a est une constante connue et i le courant qui, dans la marche à vide, correspondait à la vitesse ω, c'est-à-dire une fonction connue de ω.

On en tire

$$T = \frac{K}{a}\int_0^{\Omega}\frac{d\omega}{i}, \qquad (1)$$

On peut tracer la courbe qui a pour abscisses les valeurs de ω et pour ordonnées celles de $\frac{1}{i}$ et mesurer au planimètre l'aire de cette courbe. L'équation précédente donne alors la valeur de K.

Il arrive très souvent que i peut être regardé, avec une grande approximation, comme une fonction linéaire de ω. On peut alors se dispenser de toute construction graphique. On représentera les expériences par une équation de la forme

$$i = m\omega + i_0.$$

L'équation (1) devient

$$T = \frac{K}{am} \operatorname{Log} \frac{m\Omega + i_0}{i_0}, \tag{2}$$

ou, comme $m\Omega + i_0$ est le courant I qui correspond à la vitesse Ω,

$$T = \frac{K}{am} \operatorname{Log} \frac{I}{i_0}. \tag{3}$$

Il faut faire attention à l'unité avec laquelle K est exprimé ; les grandeurs électriques étant mesurées en unités pratiques, le *joule* est l'unité de travail. On exprimera les vitesses angulaires en prenant la seconde comme unité de temps. L'unité de moment d'inertie est alors définie par cette condition que $K\omega^2$ représente la force vive en joules. L'unité pratique de moment d'inertie vaut donc 10^7 unités C.G.S.] (gr-cm²). On peut dire aussi que K est exprimé en kilogr - (mètre)².

Exemple. — Dynamo de 3 kilowatts, anneau plat.

Le courant d'excitation est maintenu invariable (0,32 ampère).

Moteur tournant à vide :

TOURS PAR MINUTE	VITESSE ANGULAIRE ω	COURANT DANS L'INDUIT i	i CALCULÉ
1 220	127,7	2,6	2,60
865	90,6	2,3	2,25
790	82,7	2,15	2,18
570	59,7	1,95	1,96
353	37,0	1,75	1,75
225	23,6	1,64	1,62

Les valeurs de i sont très exactement représentées par la formule linéaire

$$i = 0{,}0094\,\omega + 1{,}40$$

comme le montre la quatrième colonne du tableau numérique, qui donne les valeurs de i calculées par cette formule.

De plus, pour $\omega = 87$, on a $e = 58$ volts ; donc $a = \frac{e}{\omega} = 0{,}67$.

Le moteur étant lancé, on coupe le courant dans l'induit. Pour passer de la vitesse 1 210 tours par minute ($\Omega = 126{,}7$) à la vitesse 0, il faut 75 secondes.

Appliquant l'équation (2), on trouve

$$K = 0{,}77.$$

On peut multiplier les déterminations en étudiant le ralentissement à partir de diverses valeurs de la vitesse initiale. On peut aussi refaire complètement la détermination en prenant une autre valeur constante de l'excitation. Les valeurs trouvées pour le moment d'inertie, sont toujours parfaitement concordantes.

La seule hypothèse faite dans la théorie, est la constance du couple résistant, pour une

même vitesse, lorsqu'on passe de la *marche à vide* au *ralentissement spontané*. Il ne peut en être autrement pour les résistances d'ordre mécanique (la pression sur les paliers ne change pas, même en cas d'inégalités dans l'entrefer, puisque l'excitation est maintenue). Les résistances d'ordre magnétique (hystérésis et courants de Foucault dans le fer de l'induit) peuvent, théoriquement, subir une légère modification par suite de l'action magnétique des courants dans l'induit ; mais, le moteur tournant à vide, ces courants sont extrêmement faibles, et la perturbation qu'ils produisent sur l'état magnétique du fer de l'induit entièrement négligeable.

Il va sans dire que la méthode est applicable à la détermination du moment d'inertie de tout appareil entraîné par l'induit. Avec deux expériences, on pourra avoir séparément le moment d'inertie de l'induit seul et de l'appareil qu'il entraîne, sans que les variations dans les frottements puissent produire aucune inexactitude dans les résultats.

Enfin, on peut déterminer le moment d'inertie d'un appareil quelconque, susceptible d'être entraîné par le moteur électrique au moyen d'une courroie, et cela quel que soit le rapport des vitesses des deux mouvements de rotation et le rendement de la transmission ; une première expérience donnera le moment d'inertie du moteur seul. On fera une seconde expérience, entièrement analogue à la première, sur le moteur entraînant l'appareil à étudier. La constante K qui entre dans les formules, et dont on détermine la valeur, a alors la signification suivante : si ω est la vitesse angulaire *du moteur*, $K\omega^2$ est la force vive totale des organes en mouvement. Soient alors :

k le moment d'inertie (connu) de l'induit ;

k' le moment d'inertie (inconnu) de l'appareil entraîné ;

p le rapport de la vitesse de cet appareil à celle du moteur.

On a

$$K = k + k'p^2,$$

équation qui donne k'.

On a négligé l'inertie de la courroie ; il est facile d'en tenir compte si elle n'est pas négligeable.

Ch. Fabry.

ESSAI SUR LA THÉORIE DES PILES [1]

Deuxième partie. — Applications

Nous allons, dans cette seconde partie, faire l'application des théories développées précédemment à des types de piles bien caractérisés. Ainsi nous ferons intervenir le contrôle de l'expérience, en même temps que nous montrerons par là la manière d'appliquer ces théories aux différents cas de la pratique.

Nous rencontrerons dans la réaction chimique qui donne naissance au courant des substances les unes solubles, les autres insolubles, ou à peu près, mais constituant l'électrode. Comment ferons-nous intervenir la concentration pour ces corps ?

Dans le cas de l'*Équilibre chimique*, la question est très nette : la solubilité est relative,

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 149, 31 janvier 1903.

et un corps quelconque existant en excès dans une solution y exerce évidemment une pression constante maxima, la solution pouvant être considérée comme saturée pour ce corps. La concentration des corps insolubles, ou, pour mieux dire, des substances en excès, intervient donc sous la forme de *constantes*.

Mais pour la *Force électromotrice*, il n'en va pas toujours de même. En effet, interprétons les faits : remarquons d'abord que le phénomène de la dissolution a pour résultat la pulvérisation en molécules d'une matière solide, et la rupture de la conductibilité électrique par contact : c'est donc une division extrême de la matière, puisqu'elle atteint l'ordre de grandeur des molécules, mais son action s'arrête à ce terme, et la molécule elle-même, en fin de compte, reste ce qu'elle est, les phénomènes d'ionisation et d'hydrolyse étant mis à part : ce sont simplement les liaisons entre molécules qui ont cessé d'exister. Une solution constitue donc une poudre de molécules éloignées les unes des autres, entre lesquelles se trouve le dissolvant, uniformément réparti.

Considérons maintenant un corps théorique solide, mais parfaitement poreux, c'est-à-dire dont toutes les molécules seraient bien dégagées les unes des autres : nous ne voyons *a priori* dans ces conditions aucune différence essentielle avec l'état obtenu par la dissolution réelle, si nous supposons le liquide uniformément réparti dans les pores.

Mais nous remarquerons que cette liaison mécanique qui a persisté entre les molécules a comme conséquence l'existence de la conductibilité électrique dans toute la masse du corps poreux, de telle sorte qu'un courant électrique arrivant par les ions de l'électrolyte se répartira dans toute cette masse poreuse, en choisissant chacune des molécules de cet ensemble qui ont la même force contre-électromotrice et la plus basse valeur de « polarisation » possible.

Il suit de là que, pour faire figurer la concentration du corps poreux dans l'esprit que demande la formule, il faut considérer dans cette masse la totalité des molécules de même espèce, qui sont en contact direct avec l'électrolyte, et pour lesquelles la résistance électrolytique entre les deux électrodes est la même, et la plus faible possible, en rapportant ce nombre total de molécules de même espèce au nombre total des molécules accessibles électrolytiquement au courant.

Pour un corps parfaitement poreux, en faible épaisseur, on pourra supposer toutes les molécules accessibles électrolytiquement au courant. Si le corps n'est pas parfaitement poreux, nous considérerons toutes les molécules superficielles qui répondent aux conditions précédentes, c'est-à-dire qui s'offrent simultanément au passage du courant ; les autres molécules n'agissent que comme conducteur électrique, *hors du couple électrolytique*, et rien de plus.

Ainsi, c'est grâce au fait du passage du courant que la concentration du dépolarisant ou de la cathode insoluble doit d'intervenir sous cette forme de la totalité des molécules de même espèce, présentant la voie électrolytique la moins résistante, rapporté au nombre total des molécules accessibles électrolytiquement au courant. Il n'en va pas du tout ainsi dans le cas de l'*Équilibre chimique*, où l'excès du corps n'a aucune raison d'intervenir : il a donné naissance à une pression osmotique constante et maxima possible, et ne joue plus aucun rôle par sa présence en excès.

De même, un excès de cristaux de sulfate de cuivre dans l'élément Daniell ne joue aucun rôle actif autre que celui de maintenir la solution dépolarisante saturée, et, par suite, de concentration constante, parce que cet excès insoluble n'est pas tassé autour de l'électrode positive en une poudre de molécules par lesquelles le courant sortirait de l'électrolyte. Le même fait se produirait encore si un dépolarisant insoluble n'avait aucune liaison élec-

trique par contact avec l'électrode positive : il agirait alors seulement par sa faible portion dissoute (car l'insolubilité est relative), dont il maintiendrait la concentration constante. De là l'importance d'assurer et de conserver une bonne conductibilité dans toute la masse d'une électrode insoluble, et c'est là un des rôles fondamentaux à remplir par la grille-support dans l'accumulateur au plomb, par exemple.

Le raisonnement rend ainsi manifeste la manière de faire intervenir la concentration d'un corps plus ou moins soluble dans la formule. S'agit-il de l'*Équilibre chimique ?* la pression osmotique seule du corps peut intervenir. S'agit-il, au contraire, de la *Force électromotrice ?* ce sont, au point de passage de l'électrode et de l'électrolyte, les molécules rencontrées par le courant, par rapport à l'ensemble des molécules qui lui sont là électrolytiquement accessibles, qui interviennent pour figurer la concentration, que le corps soit dissout ou non. Dans le cas d'un corps dissout, on voit immédiatement que cette concentration est égale à la concentration habituelle en volume.

Ces réflexions préliminaires étaient nécessaires pour nous permettre d'aborder l'étude théorique des différents systèmes de piles.

L'ÉLÉMENT DANIELL. — L'élément Daniell est un type de pile d'un caractère très général, se ramenant à l'équation caractéristique :



$$RM + M' \rightleftarrows RM' + M,$$

(R étant un radical acide ; M et M', deux métaux différents), c'est-à-dire substitution d'un métal à un autre dans une solution saline de l'un convenable des deux métaux. Considérons ici plus spécialement le type aux deux sulfates de cuivre et de zinc :



$$SO^4Cu + Zn \rightleftarrows SO^4Zn + Cu.$$

Soit n molécules-grammes de SO^4Cu dans un litre de la solution de sulfate de cuivre, et n' molécules-grammes de SO^4Zn, dans un litre de la solution de sulfate de zinc, concentrations que nous admettrons proportionnelles à la pression osmotique, en négligeant pratiquement les phénomènes d'ionisation et d'hydrolyse, ou tout au moins leur variation avec la concentration. Soit α la pression osmotique due au zinc, pression constante maxima, puisque nous supposons la cathode constituée par un excès de zinc qui ne change pas de composition, et qui n'éprouve, par conséquent, aucune modification quant au nombre de molécules accessibles au courant par rapport au nombre total des molécules en contact avec l'électrolyte.

Soit β la grandeur équivalente pour le cuivre en excès, qui constitue l'anode.

La formule générale que nous avons établie précédemment, devient par suite ici :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha n}{K_0 \beta n'}.$$

Nous distinguerons trois cas :

PREMIER CAS. — *On maintient constante la concentration en sulfate de cuivre*, en employant un excès de cristaux.

La formule devient alors, N étant une constante :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha N}{K_0 \beta n'} = k \times 2T_0 \left[L \frac{\alpha N}{K_0 \beta} - L n' \right].$$

Circuit ouvert. — Ainsi la force électromotrice est proportionnelle à la différence entre une constante et le logarithme de la concentration en sulfate de zinc. C'est ce que vérifie l'expérience, comme nous l'avons vu précédemment.

A une concentration donnée en SO^4Zn correspond une force électromotrice bien déterminée, et réciproquement.

La force électromotrice décroît avec la concentration en SO^4Zn d'abord très rapidement, puis beaucoup plus lentement.

Circuit fermé. — Nous allons introduire un nouveau facteur, le temps par lequel se modifiera d'une manière continue la concentration en sulfate de zinc. Or, nous avons, en appelant i l'intensité du courant à un instant t, et dn' le nombre de molécules de SO^4Zn formées pendant un temps dt :

$$dn' = midt, \text{ et } n' = 0 + \int_0^t midt,$$

en faisant coïncider l'origine du temps avec la concentration nulle en SO^4Zn. — La constante m est déterminée par la loi de Faraday : c'est l'équivalent électrochimique du corps considéré, ici le sulfate de zinc.

D'autre part, en différentiant l'équation précédente, nous obtenons :

$$d\varphi = -k \times 2T_0 \times \frac{dn'}{n'},$$

et, en éliminant n' entre ces deux relations, nous avons l'expression :

$$\frac{d\varphi}{dt} = -k \times 2T_0 \times \frac{i}{\int_0^t idt}.$$

Ceci posé, nous pouvons examiner plus spécialement quatre modes de décharge.

1° *Décharge à voltage constant.* — Ecrivons donc :

$$\frac{d\varphi}{dt} = 0,$$

c'est-à-dire :

$$\frac{i}{\int_0^t idt} = 0.$$

Nous trouvons $i = o$, ce que l'on pouvait prévoir ainsi *apriori* puisqu'à chaque concentration en SO^4Zn, correspond une valeur de la force électromotrice bien déterminée, et que le passage d'un courant quelconque ferait varier cette concentration. — L'expérience vérifie donc bien cette conclusion théorique.

2° *Décharge à intensité constante.* — L'intensité étant constante, on voit que dn' est proportionnel au temps dt; la forme de la courbe $\varphi = f(t)$ doit donc être la même que celle de $\varphi = f(x)$, x étant la concentration, puisque nous avons ici : $x = \mu t$, μ étant une constante. — En intégrant l'équation précédente, avec $i = cte$, nous obtenons en effet :

$$\varphi = k \times 2T_0 \,(\text{constante} - Lt),$$

la constante étant déterminée par $\varphi = \varphi_0$ pour $t = t_0$, instant où l'on avait une concentration déterminée en SO^4Zn. — Cette conclusion théorique est donc encore bien vérifiée par l'expérience.

3° *Décharge sur une résistance fixe donnée R* (y compris la résistance intérieure de l'élément). — Nous avons alors :

$$\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{d\varphi}{dt} = -k \times 2T_0 \dfrac{i}{\int_0^t idt}, \\ \text{avec :} \\ i = \dfrac{\varphi}{R}, \end{array} \right.$$

Le résultat de l'élimination de i entre ces deux équations et de l'intégration de l'équation résultante est :

$$\frac{\varphi}{k \times 2T_0} + L\varphi + C = + L(t + C'),$$

C et C′ étant deux constantes d'intégration déterminées par la résistance donnée R, et l'origine prise pour le temps.

4° *Décharge en court-circuit.* — Comme nous l'avons vu au début, l'intensité maxima du courant est donnée par la vitesse même de réaction, puisque l'intensité est proportionnelle au nombre de molécules combinées pendant l'unité de temps, et la courbe de décharge d'un élément de résistance intérieure négligeable, mis en court-circuit, représente, en même temps, à une autre échelle, la loi de variation de la vitesse au fur et à mesure de la combinaison dans la réaction qui caractérise la pile en expérience.

Par suite, l'ensemble des deux équations :

$$\left\{\begin{aligned} &dn' = midt, \\ &v^2 = \left(\frac{dn'}{dt}\right)^2 = 2\gamma \times 2T_0 L \frac{\alpha N}{K_0 \beta n'}, \end{aligned}\right.$$

nous donne l'équation résultante :

$$i^2 = \frac{2\gamma \times 2T_0}{m^2} \times [C - L(t + C')],$$

(C et C′ étant deux constantes d'intégration), équation représentant la courbe de décharge en court-circuit de l'élément et, à une autre échelle, la loi de variation de la vitesse de réaction, au fur et à mesure de la combinaison.

Deuxième cas. — *On ne maintient pas constante la concentration du sulfate de cuivre.* — La formule est dans ce cas :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha n}{K_0 \beta n'}.$$

Circuit ouvert. — Nous pouvons écrire ainsi cette expression :

$$\varphi = k \times 2T_0 \left[L \frac{\alpha}{K_0 \beta} + Ln - Ln' \right].$$

On voit facilement ainsi les conclusions suivantes :

Quand la concentration n en SO^4Cu augmente, toutes choses égales d'ailleurs, c'est-à-dire la concentration n' en SO^4Zn restant constante, la force électromotrice croît.

Inversement, quand la concentration n' en SO^4Zn augmente, la concentration en SO^4Cu restant constante, la force électromotrice décroît.

Circuit fermé. — Nous allons faire intervenir un nouveau facteur, le temps, par lequel se modifieront, d'une manière continue, les concentrations en SO^4Zn et SO^4Cu sous l'influence du passage du courant, pendant la mise en décharge de l'élément.

Soit N molécules-grammes de SO^4Cu et N′ molécules grammes de SO^4Zn, au début, dans un litre de la solution de chacun des deux sulfates. S'il y a, actuellement, n' molécules-grammes de SO^4Zn, il s'est décomposé $(n' - N')$ molécules de SO^4Cu ; il en reste donc : $n = N - (n' - N')$,

et l'équation précédente devient :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha[N - (n' - N')]}{K_0 \beta n'}.$$

On voit facilement par là que N et N′ étant donnés, à une concentration n' donnée ne correspond qu'une seule valeur de la force électromotrice et réciproquement.

En différentiant cette équation, nous obtenons :

$$\frac{d\varphi}{dt} = -k \times 2T_0 \left[\frac{1}{N - \int_0^t midt} - \frac{1}{N' + \int_0^t midt} \right] mi,$$

en tenant compte de cette équation :

$$n' = N' + \int_0^t midt,$$

Nous pouvons, avec cette expression, chercher à résoudre les différents cas.

1° *Décharge à voltage constant.* — Nous écrirons donc :

$$\frac{d\varphi}{dt} = 0,$$

et nous trouvons comme solution :

$$i = f(t) = 0,$$

ce qui était à prévoir, puisque, comme nous l'avons vu plus haut, les concentrations initiales N et N′ étant données, à une concentration n' donnée en SO^4Zn ne correspond qu'une seule valeur de la force électromotrice, et réciproquement.

2° *Décharge à intensité constante.*— Alors : $i = cte = i_0$, et l'intégration de l'expression précédente donne :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \left[C \times \frac{N' + mi_0 t}{N - mi_0 t} \right],$$

C étant une constante d'intégration déterminée par la valeur de la force électromotrice à l'origine du temps.

Cette équation représente la loi de variation de la force électromotrice (en fonction du temps), de l'élément Daniell dont on ne maintiendrait pas constante la concentration en SO^4Cu, mis en décharge à intensité constante.

La formule paraît être trop compliquée pour donner un résultat dans le troisième cas (décharge sur une résistance fixe) et dans le quatrième cas (décharge en court-circuit : intensité maxima et vitesse de réaction).

Troisième cas. — *Solutions de concentrations proportionnelles, et en particulier solutions équimoléculaires.* — Nous avons donc ici :

$$n = \gamma n',$$

et, par conséquent :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha\gamma}{K_6\beta}.$$

La force électro-motrice est la même, quelle que soit la concentration absolue, pourvu que la proportionnalité reste la même entre les concentrations des deux solutions ($\gamma = cte$).

Cas particulier. — *Solutions équimoléculaires.* — Ce cas est facile à réaliser, en pratique, avec l'emploi d'un vase poreux muni d'une membrane semiperméable de ferrocyanure de cuivre.

Alors $\gamma = 1$. Théoriquement, la force électromotrice doit être une constante, quelle que

***

soit la concentration absolue. J'ai vérifié expérimentalement ce fait, en employant des solutions équimoléculaires de SO^4Cu et de SO^4Zn, à différentes concentrations. (1)

D'autre part, l'expression que nous avons établie pour le coefficient thermique du couple $\frac{d\varphi}{dT}$, nous montre ici que ce coefficient thermique est constant, quelle que soit la concentration absolue des deux solutions, pourvu qu'elles restent équimoléculaires. J'ai vérifié également cette conclusion par l'expérience.

Ainsi se trouve constitué un nouvel élément-étalon spécial qui peut être précieux dans la pratique, et rendre de grands services dans les laboratoires industriels.

L'ÉLÉMENT AU BIOXYDE DE MANGANÈSE. — *Cathode soluble. — Dépolarisant insoluble donnant naissance à un sous-produit insoluble.*

C'est encore là un type de pile d'un caractère très général. L'équation de la réaction est :



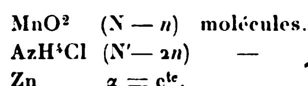
$$MnO^2 + 2AzH^4Cl + Zn \rightleftarrows ZnCl^2 + MnO + 2AzH^3 + H^2O.$$

Soit au début :

N molécules N' molécules O molécule O molécule O molécule.

Supposons actuellement n molécules-grammes de $ZnCl^2$ formées.

Alors, il y a en ce moment :



MnO^2	$(N - n)$	molécules.
AzH^4Cl	$(N' - 2n)$	—
Zn	$\alpha = c^{te}$.	

(Le zinc ne change pas de composition, tandis que MnO^2 se modifie et tend vers MnO).

$ZnCl^2$	: n	molécules.
MnO	: n	—
AzH^3	: $2n$	—

La formule que nous avons donnée devient donc ici :

$$\varphi = k \times 2T_0 L \frac{\alpha (N - n)(N' - 2n)^2}{K_0 \times 4n^4}.$$

Cette formule est trop complexe pour que nous puissions étudier théoriquement cet élément comme nous avons étudié l'élément Daniell : bornons-nous à étudier la variation de la force électromotrice quand, par suite du fonctionnement de la pile, le chlorure de zinc se forme, tandis que s'appauvrit en bioxyde de manganèse le dépolarisant.

Pour cela, développons ainsi cette formule :

$$\varphi = k \times 2T_0 \left[L \frac{\alpha}{K_0} + L(N - n)_{MnO^2} + 2L(N' - 2n)_{AzH^4Cl} - Ln_{MnO} - Ln_{ZnCl^2} - 2L2n_{AzH^3} \right].$$

On peut alors résoudre le problème graphiquement, et on verra sur l'épure la diminution extrêmement rapide de la force électromotrice en fonction de n.

D'autre part, l'examen des termes nous donne des indications intéressantes :

Termes positifs. — 1° Le terme positif : $L(N-n)_{MnO^2}$ nous montre le grand intérêt pratique qu'il y a, pour soutenir pendant quelque temps de service le voltage, à employer un très grand excès de bioxyde de manganèse, N, pour diminuer l'influence de n sur N, tout au

(1) Voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 158, 31 janvier 1903.

moins dans les premiers temps du fonctionnement de l'élément. — C'est là un fait consacré par la pratique, si l'on songe qu'un vase poreux de 14 cm de hauteur ne donne qu'une quinzaine à une vingtaine d'ampères-heure, c'est-à-dire n'exige qu'une trentaine de grammes de MnO^2 pour satisfaire à la loi de Faraday, et que l'on en met en réalité dix fois plus ! Ainsi, le bioxyde de manganèse employé dans la pile se trouve donc très peu détitré, comme on aura pu le remarquer. Mais, par là-même, nous voyons de quelle importance il est d'employer du bioxyde de manganèse très riche dans la fabrication des piles, et de ne pas craindre d'en mettre un excès : le bon service de la pile et sa longue durée en dépendent directement. Toutefois, il faut reconnaître que l'on est obligé d'y mélanger du graphite, en vue d'augmenter la conductibilité intérieure de l'élément.

2° Le terme positif : $2\,L\,(N' - 2\,n)_{AzH^4Cl}$, nous montre l'avantage qu'il y a à renouveler fréquemment la solution excitatrice de chlorure d'ammonium (sel ammoniac), partiellement épuisée : on rend ainsi à ce terme sa valeur initiale, tandis qu'il serait très mauvais de rajouter simplement du sel dans la vieille solution. C'est ce que savent très bien, par expérience, les monteurs électriciens qui rendent souvent à l'usage une pile « arrêtée », en la nettoyant, en débarrassant par conséquent la pile des sels formés, et la formule des termes négatifs : $-\,Ln_{ZnCl^2}$ et $-\,2L2n_{AzH^3}$, avec l'emploi d'une solution neuve, par le terme $2LN'$, et en remplaçant le terme positif : $+\,2L(N' - 2n)_{AzH^4Cl}$, de même valeur que lorsque la pile était neuve.

Nous voyons en même temps l'intérêt qu'il y a à employer une solution concentrée, saturée, pour augmenter N', mais aussi l'inutilité de mettre un excès de sel qui, bien que se dissolvant au fur et à mesure et maintenant N' constant, n'aurait guère d'influence favorable bien manifeste sur $(N' - 2\,n)$.

En pratique, il est vrai, pendant les intervalles de repos, d'autres réactions se produisent, qui ont été étudiées par M. Ditte : il se forme des oxychlorures plus ou moins solubles, que l'excès de sel mis au début permet d'amener en solution. On éviterait ainsi les cristallisations par trop abondantes sur les crayons de zinc et les vases poreux. Malheureusement, avec les solutions saturées se produisent les multiples inconvénients des sels grimpants ; le vase de verre se vide peu à peu de liquide par capillarité, et la pile s'arrête : l'entretien nécessite alors des visites plus fréquentes.

Termes négatifs. — 1° $Ln_{Zn\,Cl^2}$. On annule ce terme en jetant la vieille solution excitatrice pour en faire une neuve exempte de $Zn\,Cl^2$ [1].

2° $2L\,2n_{AzH^3}$. En lavant bien de temps à autre le vase poreux à l'eau courante, on dissout et enlève ainsi l'ammoniaque formée pendant les réactions du fonctionnement de l'élément. et on annule de nouveau ce terme dans l'équation.

3° Ln_{MnO}. Ce terme nous montre que si l'on peut enlever le protoxyde formé (sans décomposer l'excès de bioxyde), on annulerait par là ce terme, et la pile, remontée, serait pour ainsi dire « neuve », à la seule différence que N, l'excès de MnO^2 aurait un peu diminué, et ne serait plus que $(N - n)$. Or, cela est possible, en lavant le vase poreux avec de l'eau acidulée faible, et d'ailleurs, le protoxyde, assez oxydable, se réoxyde à l'air, mais partiellement seulement.

La pile « Georges Rosset », a force électromotrice très élevée. — Des considérations de brevetabilité à l'étranger m'interdisent de donner une description de cette pile,

[1] Nous voyons aussi par l'examen de ce terme que c'est un non-sens, au point de vue théorique, que d'ajouter préalablement du $ZnCl^2$ au sel ammoniac.

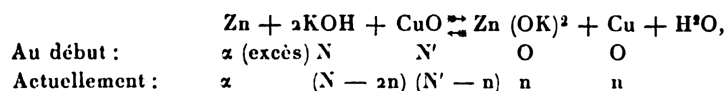
dont le dépolarisant est d'ailleurs également du bioxyde de manganèse. Je me bornerai donc à donner ici l'expression de sa force électromotrice φ :

$$\varphi = k \times 2T_0 \times L \frac{\alpha\,(N - n)\ (N' - 2n)^2\,(R - 2n)^2}{K_0 \times 4n^4}$$

Si l'on rapproche cette formule de celle de la pile ordinaire au bioxyde de manganèse, on saisira aussitôt l'influence sur la force électromotrice du terme $(R - 2n)^2$: cet élément a donc une force électromotrice bien supérieure à celle de l'élément au manganèse : il débute, en effet, au-dessus de 2 volts, et, d'après cette formule même, on voit que sa courbe de décharge se maintiendra au-dessus de celle de l'autre pile, grâce à l'existence de ce terme.

De plus, au point de vue pratique, la formation des oxychlorures nuisibles se trouve très retardée : elle est presque évitée; et la pile possède une résistance intérieure assez faible, pour qu'un élément courant à vase poreux de 14 cm de hauteur, et *à crayon de zinc*, débite plus de 2,5 ampères en court-circuit.

L'ÉLÉMENT DE LALANDE ET CHAPERON. — *Cathode soluble. Dépolarisant soluble.* — La réaction, dans cet élément, est la suivante :



	Zn + 2KOH +	CuO ⇄	Zn (OK)² +	Cu + H²O,
Au début :	α (excès) N	N'	O	O
Actuellement :	α (N — 2n)	(N' — n)	n	n

Alors, l'expression générale devient ici :

$$\varphi = k \times 2T_0\, L \frac{\alpha\,(N - 2n)^2\,(N' - n)}{K_0 n^2}.$$

En écrivant ainsi cette expression :

$$\varphi = k \times 2T_0 \left[L \frac{\alpha}{K_0} + L\,(N' - n)_{CuO} + 2L\,(N - 2n)_{KOH} - Ln_{Zn(OK)^2} - Ln_{Cu} \right],$$

on peut chercher à étudier le problème graphiquement.

Nous voyons, par là, qu'il y a intérêt à employer une solution alcaline concentrée, à cause du terme positif : $2L(N - 2n)$, ainsi qu'un grand excès d'oxyde de cuivre, pour agir sur le deuxième terme positif $(N' - n)$. Il y aurait également intérêt à renouveler plusieurs fois la solution alcaline au cours de la décharge, pour ramener de temps à autre à zéro le terme négatif :

$$- Ln_{Zn\,(OK)^2}$$

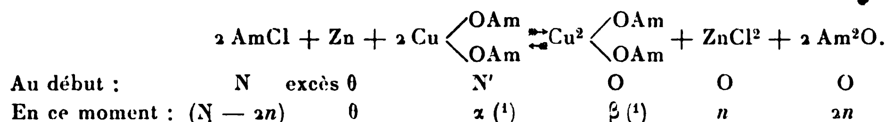
L'allure de la courbe $\varphi = f(n)$, au départ, montre que φ varie d'abord lentement en fonction de n : on a pu, en effet, employer cet élément comme pile énergique, et en faire un accumulateur pour la traction. Ce sont d'autres phénomènes qui en ont arrêté l'emploi dans cette application spéciale.

LA PILE CONSTANTE « GEORGES ROSSET ». — Cuprate d'ammonium, dépolarisant autorégénérable par réoxydation directe rapide et spontanée au contact de l'oxygène de l'air, renfermé dans un vase poreux à membrane « semiperméable » de ferrocyanure de cuivre qui en évite la diffusion.

J'ai publié une étude expérimentale de cet élément dans *Centralblatt für Accumulatoren*,

Elementen und Accumobilen Kunde (n° du 1er août 1902), qui a été reproduite dans *L'Éclairage Électrique* (n° du 1er novembre 1902).

La réaction, dans cet élément, est la suivante :



$$2\,\text{AmCl} + \text{Zn} + 2\,\text{Cu}\begin{smallmatrix}\diagup \text{OAm}\\ \diagdown \text{OAm}\end{smallmatrix} \rightleftarrows \text{Cu}^2\begin{smallmatrix}\diagup \text{OAm}\\ \diagdown \text{OAm}\end{smallmatrix} + \text{ZnCl}^2 + 2\,\text{Am}^2\text{O}.$$

Au début :	N	excès θ	N'	O	O	O
En ce moment :	$(N - 2n)$	θ	α (1)	β (1)	n	$2n$

La formule devient ici :

$$\varphi = k \times 2T_0 \,L\, \frac{\alpha\theta\,(N - 2n)^2}{K_0\beta \times 4n^3}.$$

En développant ainsi cette formule, on peut l'étudier graphiquement :

$$\varphi = k \times 2T_0 \left[L \frac{\alpha\theta}{K_0\beta} + 2L\,(N - 2n) - Ln - 2L2n \right].$$
$$\qquad\qquad \text{AmCl} \qquad\qquad Z + \text{Zn Cl}^2\ \text{Am}^2\text{O};$$

En réalité, une partie de l'ammoniaque est brûlée pendant la réoxydation qui est très énergique ; une autre partie se dégage dans l'air : ce dernier terme — $2L2n$ tend donc vers une constante.

On rend à la pile son énergie première, en renouvelant la solution excitatrice, car alors $2L(N - 2n)$ reprend sa valeur initiale, et le terme soustractf Ln n'existe plus, comme à l'origine.

En aérant le dépolarisant, on chasse l'ammoniaque en excès, et on fait ainsi disparaître le terme négatif $2L2n$, ou, tout au moins, le diminue-t-on ; tandis que sous l'influence de l'oxygène de l'air, le cuprite formé et « en régime » redevient cuprate. Toutes choses se retrouvent donc ainsi au même état qu'avant la décharge. C'est bien ce que l'expérience vérifie.

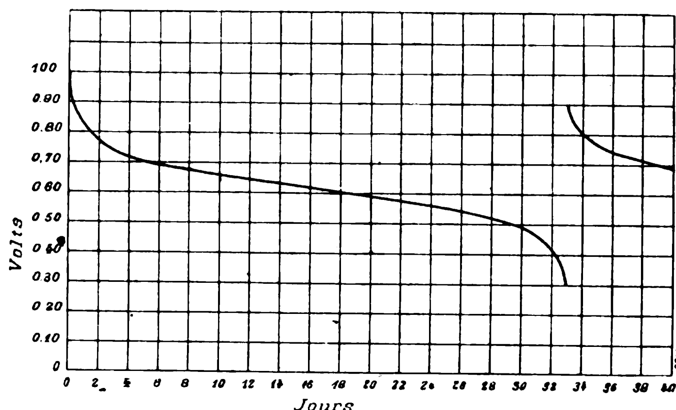
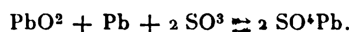


Fig. 1. — Courbe de décharge en 792 heures d'un élément « G. R. » au dépolarisant qui respire ; la baisse correspond à l'usure de l'électrode de zinc ; après remplacement de celle-ci et du liquide excitateur, la courbe reprend son allure initiale, ce qui montre que le dépolarisant n'est pas épuisé.

Application a l'accumulateur au plomb. — L'accumulateur au plomb est fondé sur la réaction suivante, réversible en liqueur acide :



$$\text{PbO}^2 + \text{Pb} + 2\,\text{SO}^3 \rightleftarrows 2\,\text{SO}^4\text{Pb}.$$

Le fait de la sulfatation est indéniable : il est prouvé théoriquement par le calcul

(1) Car un régime s'établit par le fait de la « respiration » de l'élément. Avant ce régime, le cuprate domine N', et diminue pour tendre vers α. C'est pour cette raison qu'un élément neuf commence sa décharge au-dessus d'un élément à dépolarisant déjà au régime, mais les deux courbes se superposent bientôt, comme le montrent les figures 1 et 2.

approché de la force électromotrice à l'aide de la formule :

$$\varphi = 4,32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{v} \times Q',$$

Q' étant la chaleur dégagée dans la réaction, et que l'on peut évaluer avec une approximation suffisante, en la calculant, à l'aide des données expérimentales de la thermochimie ; il est également prouvé par la variation de la concentration en acide de l'électrolyte, dont la densité s'affaiblit graduellement pendant la décharge, et remonte progressivement pendant la charge, ainsi que par le changement de couleur des plaques chargées et déchargées, celles-ci ayant leur couleur initiale affaiblie par le blanc du SO^4Pb. Si ce fait a été longtemps mis en doute, cela provient justement de ce que les plaques ne prennent pas une apparence générale blanchâtre : mais, comme nous le verrons plus loin, cela tient à ce que toute la matière active est bien loin de se transformer en SO^4Pb ; une faible quantité seulement, uniformément répartie dans toute la masse, subit cette transformation, et c'est ainsi que la couleur initiale de la plaque se trouve seulement atténuée par une décharge normale ; et c'est, en effet, un fâcheux accident lorsque la plaque éprouve une sulfatation générale et devient blanche.

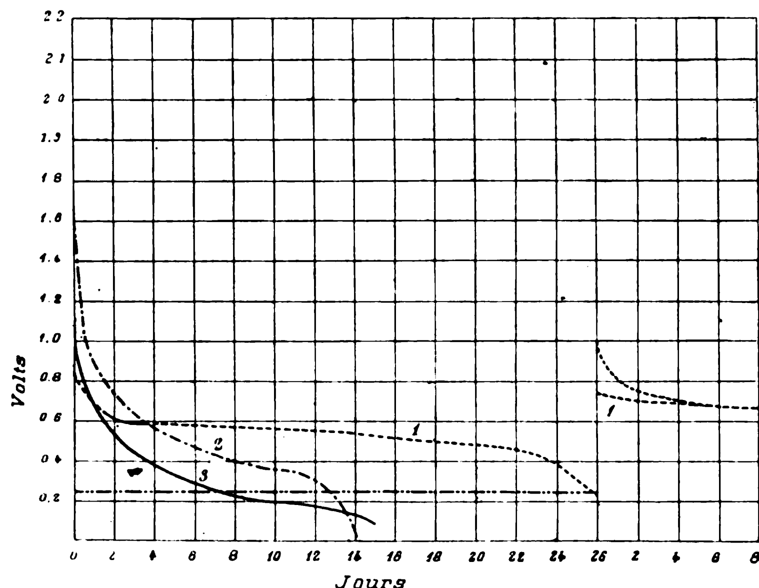


Fig. 2. — Courbes de décharge d'un élément « G. R. » (1 ; E = 1,25 volt), d'un élément ordinaire au bioxyde de manganèse (3 ; E = 1,60 volt), et d'un autre élément (2) du même auteur, mais à force électromotrice élevée (2,2 volts). Pour l'élément (1), après le premier épuisement, on reprenait la décharge sur une résistance de 10 ohms, avec le même dépolarisant d'abord, puis après renouvellement du dépolarisant.

Nous supposons qu'il y ait au début N molécules de plomb, N' molécules de PbO^2 et N'' molécules de SO^3.

Nous avons donc actuellement, après formation de $2n$ molécules de SO^4Pb : $(N - n)$ molécules de Pb ; $(N' - n)$ molécules de PbO^2 et $(N'' - 2n)$ molécules de SO^3, et l'expression que nous avons donnée de la force électromotrice devient ici :

$$\varphi = 4,32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{2} \times 2T_0 L \frac{(N - n)(N' - n)(N'' - 2n)^2}{K \times 4n^2}.$$

En écrivant ainsi cette expression :

$$\varphi = k \times 2T_0 [L (N - n) + L (N' - n) + 2L (N'' - 2n) - 2 L 2n - LK],$$

on pourra étudier graphiquement le problème.

Nous avons vérifié précédemment par l'expérience l'influence de la concentration en acide sur la force électromotrice [1].

(1) Voir *L'Écl. Électr.*, t. XXXIV, p. 159, 31 janvier 1903.

Pour pouvoir introduire un nouveau facteur, le temps, et donner ainsi l'allure générale des courbes de décharge de l'accumulateur au plomb, nous allons simplifier la formule précédente en nous plaçant dans un cas particulier. Nous allons supposer les deux électrodes de poids égal ($N = N'$) et la décharge opérée dans une quantité suffisante d'électrolyte pour pouvoir admettre que la concentration en acide reste constante.

L'expression que nous avons donnée ci-dessus devient alors :

$$\varphi = 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{2} \times 2T_0 L \frac{(N-n)^2}{K\,(2n)^2} = k \times L \frac{N-n}{2\sqrt{K}\,n}.$$

Nous allons considérer les différents modes de décharge.

1° *Décharge à intensité constante.* — Nous avons alors : $n = mi_0t$ (n est proportionnel au temps).

Par suite, la formule précédente :

$$\varphi = k\,[L\,(N-n) - Ln - L2\sqrt{K}],$$

représente la courbe de décharge dans ce cas, à une échelle convenable.

Si l'on trace cette courbe $\varphi = f(n)$, qui représente en même temps à une autre échelle l'allure de la courbe de décharge en fonction du temps, on retrouvera l'allure bien connue de la première partie de la décharge dans ce cas. Or, l'expérience montre un changement brusque dans l'allure de la courbe vers la fin de la décharge, la différence de potentiel tombant alors tout d'un coup très rapidement. Ce fait indique très nettement l'intervention d'un autre phénomène : la *Vitesse de réaction*, limite maxima pour la valeur de la combinaison par unité de temps, se trouve atteinte à ce moment, et elle est aussitôt après insuffisante pour permettre le passage du courant constant exigé. En effet, la vitesse de réaction a pour expression : $v^2 = 2\gamma\varphi$. Elle décroît donc en même temps que φ décroît, tandis que la combinaison par unité de temps doit avoir une valeur constante bien déterminée pour permettre le passage d'un courant constant. Aussitôt donc que la vitesse de réaction a décru jusqu'à cette valeur, la différence de potentiel tombe brusquement, si l'on continue à vouloir maintenir cette intensité constante de courant, car la réaction s'accomplissant librement et sans

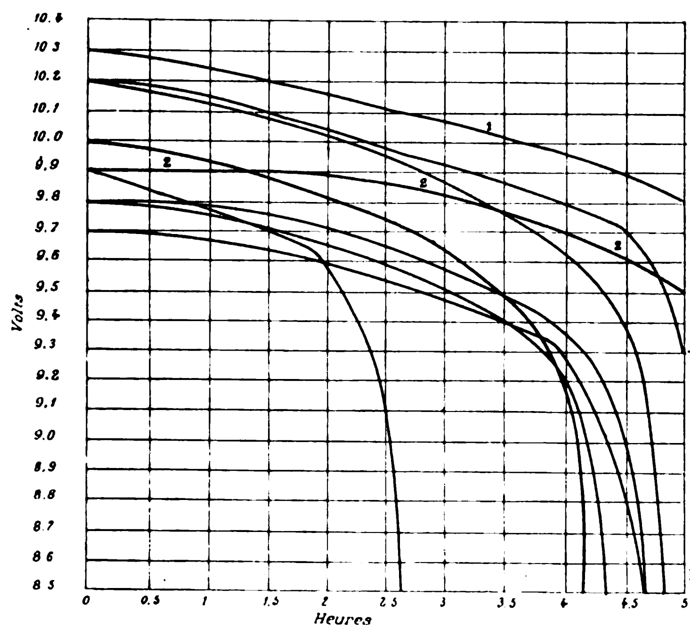


Fig. 3. — Quelques courbes de décharge à intensité constante de l'accumulateur au plomb. Extraits du Concours international d'accumulateurs (juin-décembre 1899) organisé par la Société d'Encouragement pour le développement de l'industrie automobile en France. Toutes ces décharges (sauf 1 et 2) se sont trouvées brusquement arrêtées par la valeur de la vitesse de réaction devenue insuffisante. — Noter le changemement d'allure de la courbe. Au contraire, dans les décharges 1 et 2, au bout de 5 heures la valeur limite de la vitesse de réaction n'était pas encore atteinte : on a donc seulement l'allure générale de la première partie de la courbe.

aucune entrave, avec sa vitesse maxima, par conséquent, ne donne plus même le nombre de molécules combinées par unité de temps correspondant à cette intensité de courant exigée. Il y a donc là parfaitement accord entre la Théorie et l'Expérience.

(Voir, par exemple, toutes les courbes (fig. 3) de décharge à intensité constante, dans le Concours des accumulateurs organisé en 1899 par l'Automobile-Club de France, qui fournissent une vérification expérimentale très nette.)

2° *Décharge à voltage constant.* — Nous allons former l'expression $\frac{d\varphi}{dt}$ et l'égaler à zéro, en nous servant de la relation $dn = midt$, et de notre expression précédente.

On trouve ainsi deux solutions :

1° $$i = f(t) = 0,$$

solution évidente *à priori*. La force électromotrice n'a aucune raison de varier, si l'on ne fait aucune décharge.

2° $$\frac{1}{i} = \frac{m}{2N} t + \frac{1}{i_0}.$$

Ainsi il existe une décharge réelle à voltage constant, affectant une allure hyperbolique, dans les limites où l'intensité reste compatible avec la vitesse de réaction. C'est ce que vérifie l'expérience (fig. 4).

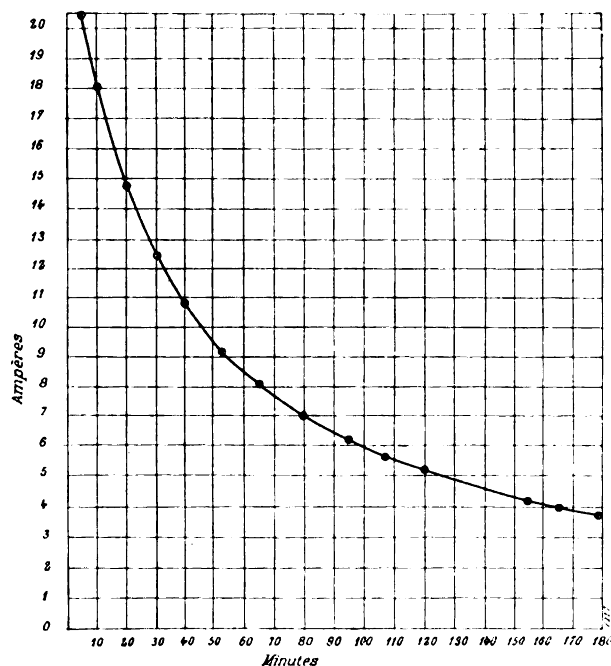


Fig. 4. — Décharge à voltage constant de l'accumulateur au plomb.

Hyperbole de la Décharge à Voltage constant : 1^{volt},93.

$$\frac{1}{i} kt + \text{constante}.$$

$$\text{D'ou : } k = \frac{1}{t} \times \left[\frac{1}{i} - \text{constante}\right] = \text{constante ?}.$$

t	i	$\frac{1}{i}$	$\frac{1}{i} - 0{,}0425$	k = CONSTANTE : ?
	ampères			
0'	»	»	»	»
5'	20,5	0,0488	0,0063	0,00126
10'	18,1	0,0552	0,0127	0,00127
20'	14,8	0,0676	0,0251	0.00126
30'	12,5	0,0800	0,0375	0,00125
40'	10,8	0,0925	0,0500	0,00125
52'5	9,2	0.1087	0,0662	0,00126
65'	8,1	0,1234	0,0809	0,00124
80'	7,0	0,1429	0,1004	0,00125
95'	6,2	0.1613	0,1188	0,00125
107'	5,6	0.1786	0,1361	0.00127
120'	5,2	0,1923	0,1498	0,00125
155'	4,2	0,2381	0,1956	0,00126
165'	4,0	0,2500	0,2075	0,00127
180'	3,7	0,2727	0,2302	0.00127

3° *Décharge sur une résistance donnée* R (y compris la résistance intérieure de l'élément). — En combinant l'équation obtenue précédemment pour $\frac{d\varphi}{dt}$, avec l'égalité donnée par la loi d'ohm $i = \frac{\varphi}{R}$, nous obtenons finalement :

$$\frac{1}{\varphi^2} = \frac{1}{\varphi_0^2} + \alpha t.$$

α étant une constante, c'est-à-dire l'allure des courbes (fig. 5, 6 et 7).

En réalité la décharge se trouve arrêtée au point a, la vitesse de réaction étant devenue insuffisante pour permettre de soutenir l'intensité exigée par la loi d'Ohm, $i = \frac{\varphi}{R}$, et à ce moment la différence de potentiel se met à baisser par suite très rapidement. Il convient alors d'arrêter la décharge à ce régime.

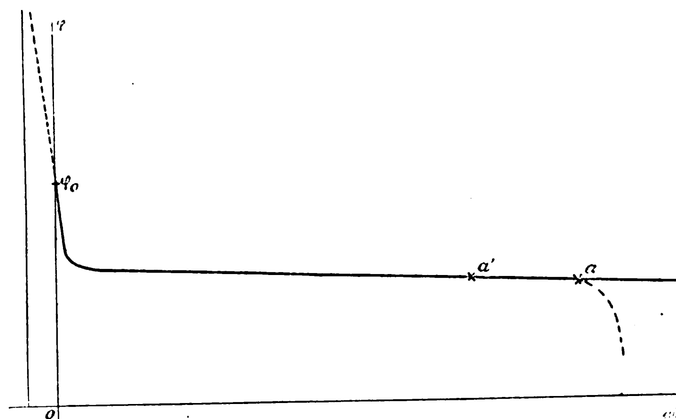


Fig. 5. — Courbe théorique de la décharge de l'accumulateur au plomb sur une résistance fixe.

Par là, nous voyons aussitôt pourquoi la capacité est fonction du régime de décharge : en effet, à un régime plus élevé doit correspondre une vitesse de combinaison plus grande; la vitesse de réaction limite sera donc atteinte plus rapidement. Puisqu'elle est directement liée à φ, elle nécessite une force électromotrice au moins supérieure à celle corresdant au point a', par exemple, et en ce point, par conséquent, la différence de potentiel se mettra à baisser rapidement : la décharge à ce régime sera terminée.

A partir du point a, la courbe pointillée, représentant la suite de la décharge, est donc donnée par la loi de la combinaison avec la vitesse même de la réaction considérée. Or, on a, d'après la loi que nous avons établie :

$$\left(\frac{dn}{dt}\right)^2 = 2\gamma \times \varphi.$$

Pour l'accumulateur au plomb, et dans le cas particulier que nous avons considéré, on trouve l'expression :

$$-2\left[L\frac{N-n}{2\sqrt{K}\,n}\right]^{\frac{1}{2}} \times \frac{n\,(N-n)}{N} = \sqrt{2\gamma\,k}\;t + \text{constante}.$$

A cette variation de n en fonction du temps correspond une variation de i en fonction du temps [1], et par là même, régie par la loi d'Ohm, la variation de φ en fonction du temps, c'est-à-dire, finalement, la courbe figurée en pointillé.

4° *Décharge en court-circuit.* — La combinaison des équations :

$$dn = midt, \quad \text{et} \quad n = \int_0^t midt + 0,$$

$$\left\{\begin{aligned} &\left(\frac{dn}{dt}\right)^2 = 2\gamma\varphi, \\ &\varphi = kL\frac{N-n}{2\sqrt{K}n}, \end{aligned}\right.$$

---

[1] L'égalité : $dn = midt$, nous montre que i est représenté par cette courbe : $n = f(t)$, par le coefficient angulaire $\frac{dn}{dt}$ de la tangente à la courbe en ses différents points.

****

nous donne l'expression :

$$i^2 = \frac{2\gamma k}{m^2}\, \mathrm{L}\, \frac{\mathrm{N} - n}{2\sqrt{\mathrm{K}n}},$$

équation de la courbe représentant l'intensité maxima *en fonction de n*, c'est-à-dire au fur

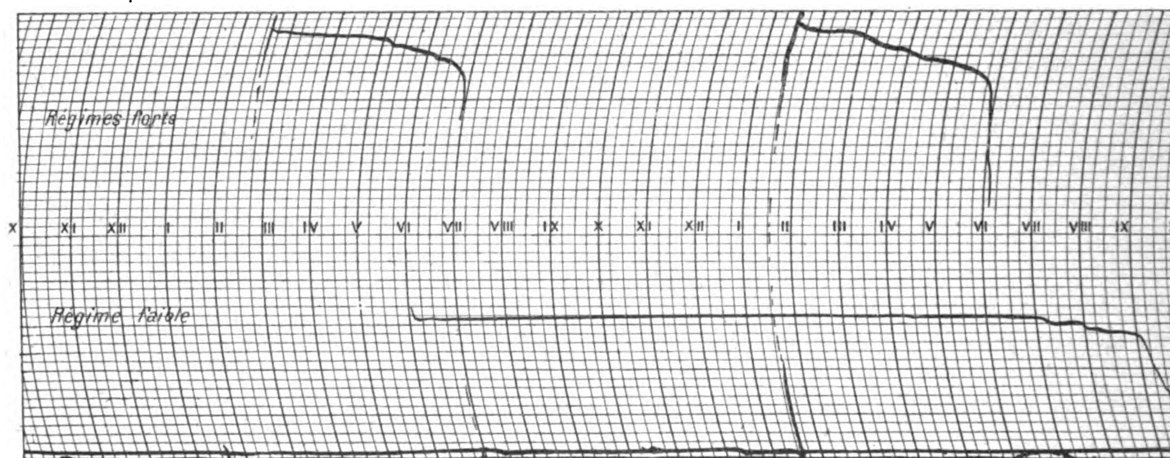


Fig. 6. — Courbes expérimentales de la décharge de l'accumulateur au plomb sur une résistance fixe.

et à mesure de l'accomplissement de la réaction. Pour avoir la courbe de décharge *en fonction du temps*, il faudrait intégrer l'équation obtenue par l'élimination de n, c'est-à-dire l'expression :

$$i^2 = \frac{2\gamma k}{m^2}\, \mathrm{L}\, \frac{\mathrm{N} - \int_0^t midt}{2\sqrt{\mathrm{K}} \int_0^t midt}.$$

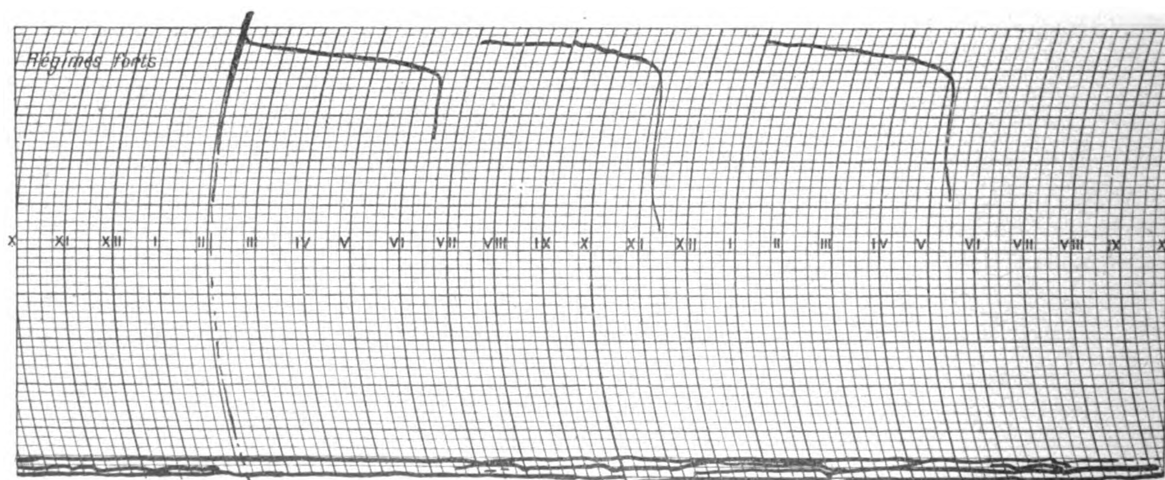


Fig. 7. — Courbes expérimentales de la décharge d'un accumulateur au plomb sur une résistance fixe.

Différents modes de charge de l'accumulateur. — On peut charger l'accumulateur de bien des façons. La pratique en a consacré quelques-unes, que nous allons examiner.

1° *Charge à intensité constante.* — Comme précédemment on pourrait étudier le phénomène et donner l'allure de la courbe, car c'est tout simplement le fonctionnement à rebours de la réaction.

Mais par là même, la réaction dans le sens contraire comporte aussi une valeur limite de la vitesse de recombinaison : la vitesse de la réaction, dans son nouveau sens de fonctionnement, à ses différents instants.

Il arrive donc un moment où l'intensité constante du courant de charge devient supérieure à la valeur correspondant à la vitesse de la réaction : à partir de ce moment, ce n'est donc plus qu'une partie du courant qui sera absorbée ; celle dont la valeur correspond à la vitesse de réaction et qui ira continuellement en diminuant, tandis que le reste du courant décomposera inutilement l'électrolyte. Les plaques commenceront à bouillonner, plus ou moins tôt suivant cette intensité constante de courant, sans être pour cela complètement chargées. De plus, le dégagement gazeux, sans compter qu'il désagrège la matière, nuit évidemment par son interposition même à l'absorption du reste du courant.

Ainsi l'économie, en même temps que le souci de la durée des plaques, doivent faire rejeter, en général, ce mode de recharge.

2° *Charge la plus rapide.* — Au contraire, en vue d'assurer la recharge dans le minimum de temps théoriquement possible, nous voyons aussitôt qu'il suffit de charger à intensité variable, pour suivre la variation de la vitesse de réaction, en commençant par une intensité de courant très forte, pour la diminuer peu à peu, dès qu'apparaît le dégagement gazeux à cette valeur de l'intensité.

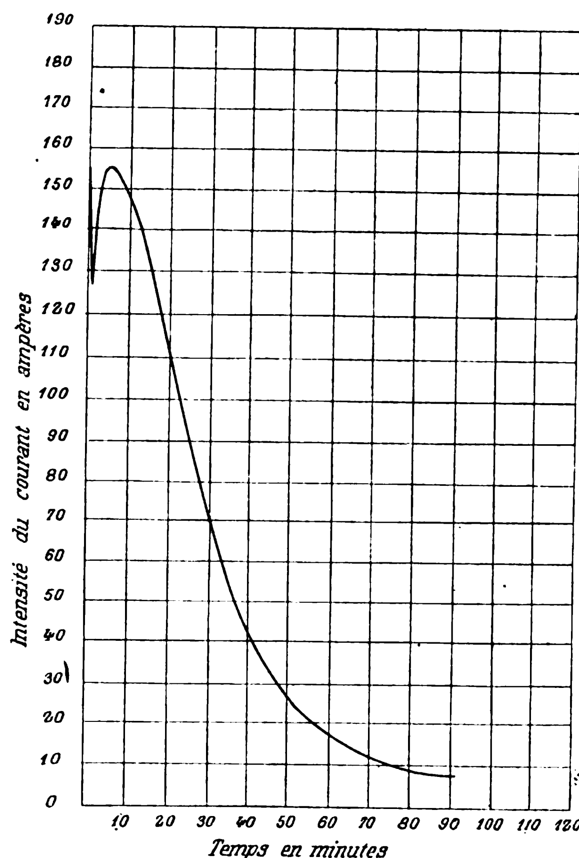


Fig. 8. — Courbe de charge d'un accumulateur au plomb, à potentiel constant (2,442 volts).

3° *Charge à potentiel constant.* — Par là même, nous voyons que la charge à potentiel constant est très rationnelle, car en somme la condition précédente se trouve presque réalisée automatiquement, puisque la force électromotrice qui sera ici contre-électromotrice augmentera, au fur et à mesure que diminuera la vitesse de réaction (mais il n'y a pas proportionnalité, ne l'oublions pas, entre ces deux variations). Voir la courbe expérimentale donnant l'intensité en fonction du temps dans la recharge à potentiel constant, d'après les mesures de Dolezalek (fig. 8).

4° *Charge à wattage constant.* — La charge à wattage constant se place naturellement entre la charge à intensité constante, à laquelle elle est absolument supérieure, et celle à potentiel constant, à laquelle, toutefois, elle se trouve forcément inférieure, par les raisons que nous venons d'examiner et la considération de la vitesse de réaction.

Capacité de l'accumulateur au plomb. — *Capacité théorique totale.* — L'accumulateur étant déchargé jusqu'à $\varphi = 0$.

La force électromotrice sera nulle lorsque l'état d'équilibre chimique se trouvera réalisé.

Posons donc : $\varphi = 0$,
nous en déduirons n maximum possible.

Nous trouvons :

$$\frac{(N - n)(N' - n)}{4n^2} = K,$$

K étant la constante d'équilibre du système à la température donnée T.

Cette formule nous donne n maximum limite, portant la capacité théorique totale, puisque à un nombre donné de molécules combinées correspond un nombre d'ampères-heure bien déterminé (loi de Faraday). Par là, nous voyons que n est bien loin d'être égal à la plus petite valeur de N ou N', comme on pouvait le croire au premier abord, par une application irraisonnée de la loi de Faraday. Aussi, une règle empirique avait-elle pris naissance, qui consistait à adopter comme utilisable pratiquement 50 p. 100 de la capacité totale calculée par la loi de Faraday. Nous en voyons ici la raison ; c'est en effet l'équilibre chimique qui est le terme de la réaction, et non la transformation totale.

Cherchons l'influence de la constante d'équilibre sur la capacité totale.

Capacité en fonction de la constante d'équilibre (variation de n avec K). — L'expression précédente même nous permet de faire cette étude, dont voici la conclusion :

Pour que n tende vers N, c'est-à-dire pour que la capacité tende vers son maximum possible (utilisation totale), il faut que la constante d'équilibre K tende vers zéro.

La courbe est presque rectiligne dans sa première partie : il y a donc presque proportionnalité entre la diminution de la constante K et l'augmentation de capacité théorique totale correspondante.

Capacité pratique. — En pratique, on ne décharge jamais jusqu'à $\varphi = 0$; mais on décharge à un régime déterminé, par exemple sur une résistance fixe, et l'accumulateur est épuisé lorsque la différence de potentiel se met à baisser rapidement dans cette décharge. D'après ce que nous avons vu précédemment, on peut donc dire que c'est la vitesse de réaction, devenue insuffisante, qui arrête la décharge au régime adopté, et l'on pourrait encore continuer la décharge à un régime inférieur.

Nous voyons ainsi quel est le rôle important de la vitesse de réaction dans la capacité pratique de l'accumulateur au plomb : si la constante d'équilibre limite la capacité théorique, la capacité pratique trouve une limite encore bien plus rapprochée dans la vitesse de réaction.

Nous pouvons chercher à déterminer *à priori* cette capacité pratique. En effet, si l'on veut pousser la décharge jusqu'à un voltage déterminé, 1,8 volt par exemple, il suffit de poser $\varphi = 1,8$ volt dans l'expression précédente de la force électromotrice, qui deviendra une équation $f(n) = 0$, donnant la valeur de n, et par suite la capacité de la décharge (que l'on pourra évaluer ensuite en ampères-heure), jusqu'au voltage de 1,8 volt.

Si, au contraire, c'est une intensité déterminée que l'on veut admettre comme limite, on s'appuiera sur la vitesse de réaction : à cette intensité donnée correspond une combinaison dans l'unité de temps de valeur bien déterminée. Par l'introduction de cette valeur dans l'expression de la vitesse de réaction $\left(\frac{dn}{dt}\right)^2 = 2\gamma \times \varphi$, on déduira la valeur limite de φ où la décharge s'arrêtera par une baisse rapide de la différence de potentiel. On se trouvera

donc ramené au cas précédent de la décharge jusqu'à un voltage déterminé, et on achèvera de résoudre le problème comme dans le premier cas.

Influence de la température. — 1° *Sur la constante d'équilibre* K, *et par suite sur la capacité théorique totale.* — Nous avons vu, lors de l'étude de l'équilibre chimique :

$$\frac{dk}{dT} = + \frac{Q}{2T^2}.$$

avec la relation :

$$k = \text{L}\,\text{K}.$$

La constante d'équilibre croît donc lorsque la température augmente. Il suit de là qu'une augmentation de température faisant croître la constante d'équilibre, diminue la capacité théorique totale.

On peut étudier cette influence, en posant :

$$k = k_0 - \frac{Q_T}{2T},$$

ou :

$$\text{L}\text{K} = \text{L}\text{K}_0 - \frac{Q_T}{2T}.$$

Cette hyperbole montre que l'influence de l'accroissement de la constante d'équilibre par l'élévation de la température, se fait de moins en moins sentir à mesure que la température s'élève.

On remarquera que, comme n est en pratique presque proportionnel à K, cette même hyperbole nous donne une idée de la variation de la capacité théorique totale elle-même en fonction de la température.

2° *Sur la vitesse de réaction, et par suite sur la capacité pratique, à un régime de décharge déterminé.* — Nous avons trouvé, lors de l'étude de l'influence de la température sur la vitesse de réaction, l'expression :

$$v^2 = e^{2v\,\text{L}\,\frac{T}{T_0}} - 1.$$

Nous voyons par là l'influence très grande de la température sur la vitesse de réaction, et par suite, également, sur la capacité pratique.

Et ainsi, bien que l'élévation de la température diminue la capacité théorique totale, l'expérience montre par ce fait un accroissement sensible de capacité pratique.

Comment augmenter la capacité de l'accumulateur au plomb. — Il résulte de toute cette étude sur l'accumulateur au plomb que, pour en augmenter réellement la capacité, en agissant sur la matière active, et non en allégeant la grille-support au détriment de la solidité, il faut et il suffit d'agir :

D'une part, sur la constante d'équilibre du système, pour la diminuer ;

D'autre part, sur la vitesse de réaction, pour l'augmenter.

Toute la question est là, et uniquement là.

Il convient de noter d'ailleurs immédiatement qu'en diminuant la constante d'équilibre du système, on augmente par là-même la vitesse de réaction : on le voit manifestement par l'examen de la formule théorique :

$$\left(\frac{dn''}{dt}\right)^2 = 2\gamma 2 \times \text{TL}\,\frac{p^n p'^{n'}}{\text{K}\,p''^{n''}},$$

où K figure au dénominateur.

De plus, cette diminution de la constante d'équilibre du système entraîne comme conséquence directe une légère augmentation de la force électromotrice du couple. On a en effet, l'expression :

$$\gamma = 4{,}32 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\gamma} \times 2T \times L \frac{p^{n} p'^{n'}}{K p''^{n''}}$$

où K figure au dénominateur.

Or, j'ai pu résoudre pratiquement ce problème, et comme je le disais au début, créer un nouvel accumulateur fondé sur ces théories nouvelles de Chimie Physique.

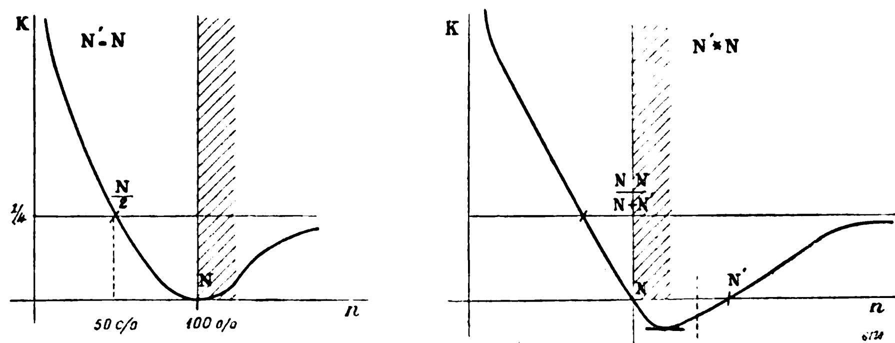


Fig. 9. et 10. — Courbes donnant la variation de capacité en fonction de K la constante d'équilibre du système.

Des considérations de brevetabilité à l'étranger m'interdisent de donner actuellement aucun éclaircissement sur cette solution pratique. Mais nul doute que *L'Éclairage Électrique* ne m'accorde à nouveau l'hospitalité de ses colonnes, lorsqu'il me sera permis de décrire cet accumulateur. Qu'il me suffise de dire ici que j'ai pu réaliser plus de 150 ampères-heure au kilogramme de matière active positive, contre 48 à 50 ampères-heure que donne la matière active ordinaire, à des décharges de 20 ampères par kilogramme de matière active positive.

De plus des décharges même très prolongées n'occasionnent jamais la sulfatation nocive générale, et aucune « formation » n'est nécessaire : ces hautes capacités sont obtenues dès les premières décharges de l'accumulateur.

Ce qui limite la durée d'existence des plaques. — Les alternatives de charge et de décharge semblent amener une augmentation de la constante d'équilibre avec une transformation allotropique du plomb, qui le rend impropre à éprouver à nouveau ces réactions contraires de la charge et de la décharge.

Il y a là une étude intéressante à faire, à l'aide du microscope et de procédés physico-chimiques, en cherchant à déterminer si la forme cristalline de la matière active ne se modifie pas au fur et à mesure de son service. Je me propose de l'entreprendre. Le bien-fondé de cette hypothèse semble tenir à ce fait que même dans les accumulateurs où la chute de matière active est rendue impossible par une protection mécanique quelconque (amiante, vase poreux, etc.), on n'en constate pas moins une diminution très sensible de la capacité avec le temps.

Conclusions générales. — L'ensemble de cette étude nous montre bien manifestement que tout couple électrochimique, étant fondé sur une réaction chimique, possède une capacité théorique limitée par la constante d'équilibre du système, car la réaction tend vers un état d'équilibre chimique bien défini, et non vers la transformation totale.

C'est donc une utopie que de penser obtenir jamais la capacité totale calculée d'après la loi de Faraday. En pratique même, on trouve dans la vitesse de réaction une limite encore bien plus rapprochée que celle posée par la constante d'équilibre, et la capacité utilisable est en effet, théoriquement et pratiquement, fonction du régime de décharge.

De tous les couples électrolytiques, il convient d'une manière générale, de ne retenir à l'examen que ceux à force électromotrice élevée, pour plusieurs raisons :

D'abord, une raison de « wattage » ; une même capacité « électrochimique » donnera plus d'énergie, et il est bien aléatoire de penser rencontrer une capacité beaucoup plus grande en passant d'un système à un autre, surtout de force électromotrice inférieure.

D'autre part, en effet, nous avons vu le rôle extrêmement important de la vitesse de réaction ; or, la vitesse croît avec le caractère thermique de la réaction, par suite avec la force électromotrice même, comme nous l'avons établi, suivant une loi parabolique. C'est donc dans les systèmes à force électromotrice élevée que l'on a le plus de chances de trouver une grande capacité pratiquement utilisable, et, par le fait, l'accumulateur au plomb semblait donc être encore la meilleure voie de recherches bien raisonnées.

Mais l'avenir réel est à une pile primaire à circulation, car, d'après la formule, si l'on renouvelle les produits réagissants en enlevant au fur et à mesure les produits formés, un état de régime se produit, et la force électromotrice reste constante.

En renouvelant notamment des gaz convenables dans les électrodes, c'est-à-dire là où ils sont appelés à jouer un rôle utile, celles-ci une fois saturées, seront entretenues en cet état par une arrivée nouvelle de gaz, et on pourra faire débiter l'appareil en raison même de cette amenée de gaz. On constituera ainsi un « brûleur électrochimique » à gaz, transformant directement en énergie électrique la chaleur de combustion, d'une manière complète et avec utilisation totale, en évitant le moteur thermique de rendement théorique si déplorable, et le réservoir électrochimique actuel, de capacité utilisable théoriquement si réduite. Les chutes d'eau naturelles serviront à la production électrochimique économique des gaz de consommation, ou des subtances convenables propre à les engendrer. On fera sa provision en cours de route, comme le « chauffeur » fait son pétrole, et la locomotive son eau et son charbon. On aura mis de côté toute idée d' « accumulateur », qui n'est actuellement qu'un pis-aller comme le moteur thermique. Car l'accumulateur est une cause d'ennui dans sa recharge spéciale même ; pour le « chauffeur » n'est-il pas plus simple de faire instantanément sa provision de calories sous forme d'essence, de pétrole ou d'alcool, que s'il lui fallait remiser sa voiture pendant plusieurs heures, pour chauffer un organe formant réservoir de calories ?

Aussi doit-on bien se dire qu'*en principe*, pour la traction, l'accumulateur a vécu : il est condamné par la théorie comme par la pratique. L'avenir réel est à la pile à gaz : la question si importante de la traction électrique en particulier, et de la traction en général, sera résolue le jour où le brûleur électrochimique à gaz, ne nécessitant pas des métaux hors de prix, sera trouvé : c'est dans cette voie qu'il faut chercher, et c'est dans cet ordre d'idées que je cherche moi-même.

Georges Rosset.
Ingénieur des Arts et Manufactures.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉGRAPHIE

***Nouveau manipulateur télégraphique Gallego pour courant continu*, par Marchesini.** *L'Elettricista*, t. XII, p. 44, février 1903.

L'emploi du courant continu pour service télégraphique se répand en Italie, mais le principal inconvénient qui en retarde l'application générale réside dans l'interruption du circuit qui doit être faite avant l'envoi des signaux.

Cette interruption peut être obtenue d'une manière fixe, mais si l'employé oublie de refermer le circuit, il enlève aux autres postes la possibilité de communiquer. L'interruption automatique n'a pas cet inconvénient, mais pendant la transmission l'employé doit maintenir la manivelle pour empêcher l'interrupteur automatique de se refermer.

Le manipulateur Forcieri (fig. 1), très em-

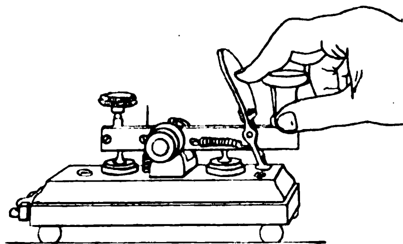


Fig. 1.

ployé dans les bureaux italiens, est un transmetteur Morse, dans lequel un levier poussé par un ressort maintient fermé le circuit. Pour l'envoi des signaux, il est nécessaire de pousser le ressort et de manipuler ensuite le contact.

La fatigue résultant de l'effort exercé par le doigt conduit l'employé à chercher à l'éviter par tous les moyens possibles, par exemple en calant le levier avec un coin de bois. En outre, l'appareil s'abîme assez rapidement par suite de l'affaiblissement du ressort et des mauvais contacts qui prennent naissance. C'est ainsi qu'au bureau télégraphique de Girgenti, qui emploie quatre circuits à courant continu, on a dû remplacer, en un temps relativement court, plus de 12 manipulateurs, sans compter les réparations faites au bureau même.

Gallego propose l'emploi d'un manipulateur qui élimine en partie les inconvénients que nous venons de rappeler (fig. 2 et 3). La palette qui sert à supprimer le contact n'existe plus; la touche est séparée en deux pièces, l'une est légèrement détachée de la partie principale et rejetée vers la droite, elle peut s'approcher de la première par une légère pression du doigt. Cette action a pour effet de tendre un petit res-

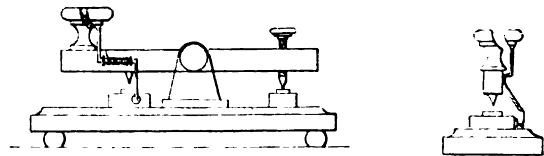


Fig. 2 et 3.

sort en spirale fixé au levier et de couper le circuit, cette pièce constitue l'interrupteur. L'employé continue à presser légèrement les deux pièces pour maintenir l'interruption et manipule la touche pour envoyer les signaux. La manœuvre est simple et ne fatigue en aucune façon. L'emploi de cet appareil permettra de juger de sa valeur véritable; mais, dès l'abord, il semble apporter un réel perfectionnement, d'autant plus que, par la façon dont le ressort travaille, le contact doit se fatiguer moins rapidement. G. G.

ÉCLAIRAGE

***Les « arcs-flammes » ou arcs « à effets »*, par W. Biegon von Czudnochowski.** Mém. prés. à la Soc. all. de Phys.; voir les *Verhandlungen*, p. 157-176, séance du 3 avril 1903.

L'auteur fait l'historique des lampes électriques employant, en vue de donner plus d'intensité à l'arc, certains sels métalliques dont on imbibe les électrodes. Grove a, dès 1840, constaté que les charbons imprégnés de sels de potassium ou de sodium permettent de donner à l'arc électrique une longueur plus considérable, toutes choses d'ailleurs égales, et M. Casselmann a, quelques années plus tard, établi par des recherches étendues que ces sels augmentent également l'intensité lumineuse de l'arc. M. Carré, qui vers 1880 a soumis ces phéno-

mènes à un examen approfondi, a pu constater que la potasse et la soude augmentent la puissance lumineuse de 25 p. 100, la chaux, la magnésie ou l'oxyde de strontium, de 40 p. 100, les oxydes de fer ou d'antimoine, de 60 à 70 p. 100.

A citer aussi les tentatives de M. Jablochkoff (1876), qui dans ses « bougies » électriques cherchait à colorer la lumière en ajoutant des oxydes métalliques à la couche isolante : deux tiges en carbone, entourées chacune d'un manteau d'amiante, étaient disposées à peu de distance l'une de l'autre, les intervalles étant remplis d'une matière renfermant des oxydes ; au lieu du charbon, M. Jablochkoff utilisait encore des métaux et d'autres substances. Une série de brevets, surtout anglais ou américains, témoignent également des efforts incessants qu'on faisait pour parfaire ce genre d'électrodes. L'auteur mentionne, entre autres, la « lampe Soleil » de MM. Le Clerc et Bureau, exposée à Paris en 1881 et que M. Violle appelait le « Drummond électrique. »

Après ces nombreux essais préliminaires, il a été donné à l'Exposition universelle de Paris, en 1900, de faire connaître la première solution vraiment pratique du problème, en présentant au public la lampe à arc de M. Bremer. Les brevets Bremer datent de 1899 et sont essentiellement relatifs à la confection des électrodes. Notons, parmi les matières qu'utilise M. Bremer, les composés de Ca, de Sr et de Mg (à 20-50 p. 100), destinés à assurer des arcs longs et fort lumineux ; ceux de Fl, Br ou de Ca (à 5 p. 100), employés en vue d'obtenir une couleur jaunâtre ; les sels de Bo, K ou Na, donnent plus de stabilité aux arcs voltaïques ; les fondants tels que NaCl, Na^2CO^3, K^2CO^3, SiO^2 ; les manchons de matières contenant des composés de Ca, Mg ou Al, destinés à épaissir les gouttes de scories qui se détachent.

Les gaz de la combustion sont retenus par un écran disposé immédiatement en dessus de l'arc et que M. Bremer désigne sous le nom d' « économiseur », et un dispositif spécial élimine les fumées. On sait que M. Bremer, en choisissant une disposition analogue à celle du « brûleur » de M. Gérard (1881), emploie des électrodes inclinées sous un angle aigu, la pointe en bas.

Le mérite de M. Bremer n'est point, on le voit, dans l'originalité de sa lampe, qui s'est au contraire inspirée des résultats de nombreux prédécesseurs, mais dans la solution pratique qu'il a su donner à un problème dont on s'était depuis longtemps occupé. La diffusion rapide de ces lampes ainsi que les nombreux concurrents qu'elles n'ont pas tardé à susciter, prouvent la portée de cette invention.

On sait que dans les lampes ordinaires, l'arc proprement dit, c'est-à-dire le parcours gazeux séparant les électrodes, n'est que peu lumineux, tandis que les bouts des électrodes sont chauffés à la chaleur blanche ; dans les conditions normales le charbon positif concourt à la puissance lumineuse totale pour 85 p. 100, le charbon négatif, pour 10 p. 100, et l'arc lui-même pour 5 p. 100. Pour des tensions très élevées, l'aspect de l'arc subit, toutefois, des modifications considérables ; sa longueur et son diamètre augmentent, en même temps qu'on observe une structure bien marquée. Comme cependant le surcroît d'énergie que nécessitent ces arcs est hors de proportion avec le surplus d'intensité lumineuse, ils ne se prêtent point aux emplois pratiques. Mais en donnant à cet arc plus étendu une intensité lumineuse plus grande, on obtiendrait un rayonnement excessivement favorable, c'est-à-dire des effets d'écran très faibles du

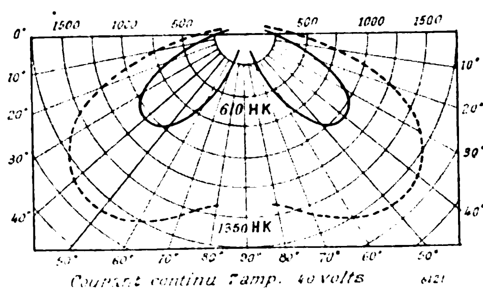


Fig. 1.

charbon négatif ; c'est ce qu'on réalise au moyen des électrodes du type Bremer, qui diminuent en même temps la résistance de l'arc et, par là, la tension nécessitée, à longueur égale de ce dernier. La modification de l'intensité lumineuse produite par ce genre d'électrodes est représentée, pour différentes inclinaisons, dans la figure 1 pour les courants continus, et dans la figure 2, pour les courants alternatifs. Or, les électrodes renfermant des oxydes métalliques donnent lieu à une production abondante de scories, lesquelles en dégouttant de l'électrode

supérieure sur l'électrode inférieure compromettent sérieusement le bon fonctionnement de l'arc voltaïque. Il faut donc, ou bien réduire à un minimum ces additions d'oxydes, ou, comme l'a fait M. Bremer, disposer les électrodes à angle aigu, l'une par rapport à l'autre, et la

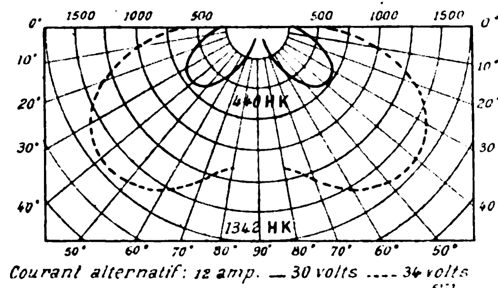


Fig. 2.

pointe en bas. La distribution des puissances lumineuses, évidemment bien différente dans ce cas, est représentée dans la figure 3 pour les courants alternatifs et des additions égales de différents corps donnant à l'arc des colorations différentes, d'après les mesures de M. Wedding. L'arc électrique est empêché de se déplacer vers le haut : 1° par l'économiseur précité ; 2° par le champ magnétique produit par le courant lui-même et qui pousse l'arc en bas ; ce champ peut du reste être renforcé au moyen d'un aimant souffleur. Comme cependant une action trop intense de ce dernier est nuisible, l'*Allgemeine Elektrizitätsgesellschaft*, dans ses « lampes a arc intense » renonce à l'emploi des aimants souf-

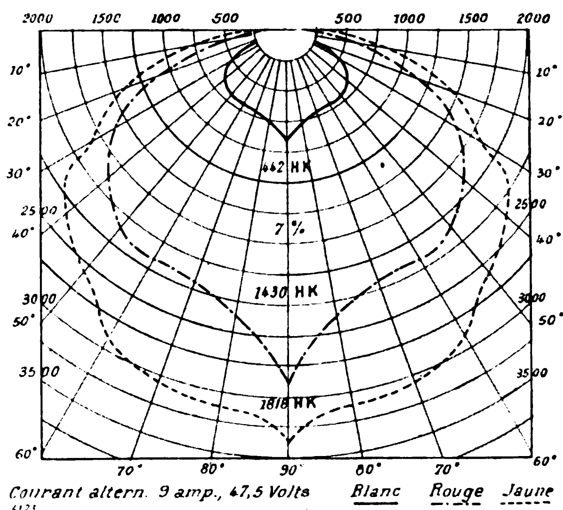


Fig. 3.

fleurs, ce qui n'est admissible que pour les inclinaisons de 15 à 45° des électrodes.

Le tableau ci-après donne les longueurs des arcs-flammes à électrodes superposées (d'après les mesures de MM. Körting et Mathiesen) :

INTENSITÉ du courant.	TENSION	LONGUEUR TOTALE des électrodes.	LONGUEUR de l'arc voltaïque.	GENRE DE COURANT
7 ampères	40 volts	400 mm	9 à 10 mm	courant continu
9 —	41 —	400 —	11 à 12 —	—
12 —	42 —	400 —	13 à 14 —	—
8 ampères	32 volts	400 mm	7 mm	courant alternatif
10 —	34 —	400 —	10 —	—
12 —	34 —	400 —	11 —	—

La figure 4 représente la manière dont la tension varie avec la longueur de l'arc, pour trois types différents de lampes à arc. Il résulte de cette comparaison que l'emploi des arcs-flammes est fort avantageux en ce qu'il permet de varier assez considérablement la longueur de l'arc, sans sortir des tensions pratiquement admissibles et usuelles ; le contraire peut se dire de la lampe Rasch, qui exige un régulateur très subtil et sensible.

Dans ce qui vient d'être dit, on a eu en vue surtout les arcs colorés en jaune par les sels de Ca ; les résultats sont notablement inférieurs pour les électrodes additionnées d'autres substances.

Les avantages des arcs-flamme sont, non pas seulement dans la consommation d'énergie réduite, mais encore dans l'augmentation de luminosité de l'arc lui-même, qui concourt pour 25 p. 100 au rayonnement total de la lampe. Le

rendement plus favorable pourrait provenir de ce dernier fait, s'il était permis d'admettre que l'émission de l'arc fût bien plus économique que celle des électrodes. Le spectre de la lampe Bremer (voir la fig. 5) est un spectre de bandes d'une intensité particulièrement élevée dans le jaune et le vert; il n'y a point de rayonnement thermique pur. On est en présence ici d'une émission sélective à laquelle concourent également les électrodes, mais les recherches jusqu'ici faites à ce sujet n'ont pas encore donné tous les détails voulus.

L'auteur réunit dans le tableau suivant, en se basant sur la tension normale de 110 volts et en admettant une perte de 5 volts dans les conducteurs principaux, les valeurs des consommations spécifiques absolue et pratique, pour des arcs de différents types :

TYPE DE LAMPE et genre de courant.	AMP.	VOLTS	WATTS / BOUGIE abs.	WATTS / BOUGIE prat.	REMARQUES
Courant continu, lampe à basse tension. . .	9	35	0,6415	0,6415	Système à 3 lampes.
— — — à haute — . . .	9	45	0,578	0,6740	Système à 2 lampes.
— — lampe normale.	7	40	0,4590	0,6024	— —
— — —	12	43	0,3718	0,4535	— —
Courant alternatif, lampe normale.	12	30	0,8181	0,4318	— —
— — —	12	30	0,8181	0,9545	3 lampes.
Courant continu, lampe Jandus	4	78	1,9756	2,7902	1 lampe.
— — — Regina	6	110	—	1,075	—
— — — à arc-flamme . . .	7	40	0,2075	0,2722	2 lampes.
— — — — . . .	12	43	0,2511	0,3063	—
— alternatif — — . . .	12	34	0,3040	0,4694	—
— continu — — . . .	9	45	0,187	0,2184	—
— — — Bremer	9	48	0,1309	0,1432	—
— — — —	56	89	0,1003	0,1183	Une lampe à quatre arcs.

Les processus chimiques se produisant dans l'arc-flamme, très variés sans doute et fort compliqués en raison du grand nombre et de la diversité des matières entrant dans la composition de ces électrodes, n'ont pas encore été étudiés en détail. La production très gênante de grandes quantités de AzO^2, qui s'opposait jusqu'ici à l'emploi des lampes Bremer dans les espaces clos, est prévenue par l'addition préconisée par les frères Siemens de quelques grammes par jour et par lampe de carbonate d'ammonium.

Après avoir étudié les réactions auxquelles donne lieu cette addition, l'auteur passe à la description du dispositif adopté pour le dernier type de lampe Bremer « C » que la Gesellschaft für Bremerlicht vient de construire et dont la figure 6 donne le schéma.

1. *Déplacement des électrodes.* — Un mouvement L est actionné, au moyen d'une chaînette, par un glisseur retenu par des guides verticaux, supportant par une barre transversale les deux porte-charbons, ces derniers étant guidés par deux paires de tiges inclinées de 36°, les unes par rapport aux autres, et supportant l'assiette *b* et le réflecteur R (économiseur).

2. *Réglage de l'arc voltaïque.* — Le mouvement L est actionné par un différentiel D, qui déplace également, par l'entremise d'un levier et au moyen de la tige régulatrice RS, la pointe du charbon négatif; à l'assiette est attaché un aimant souffleur inséré dans le circuit principal,

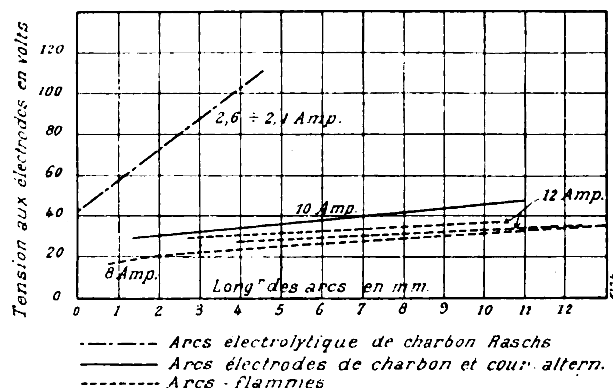


Fig. 4.

poussant l'arc en bas plus ou moins loin, suivant l'intensité du courant. La vis S sert à régler la tension du ressort F.

3. *L'allumeur*. — Comme en raison de la formation de scories, il ne suffit pas d'amener les électrodes au contact, pour établir l'arc d'une façon sûre, on a disposé en dérivation un aimant allumeur spécial ZM, lequel au moment de l'insertion amène au moyen de son armature A la tige d'allumage ZS reliée à la borne positive de

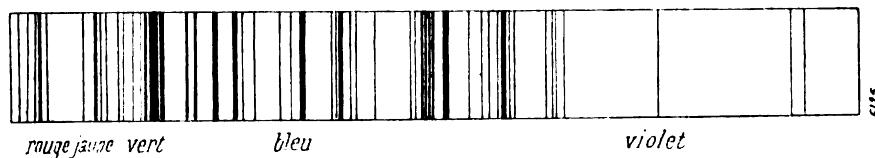


Fig. 5.

la lampe (à travers un second enroulement de l'aimant souffleur), au contact du charbon négatif; l'arc établi entre ce charbon et l'allumeur Z est entraîné par le second enroulement de l'aimant

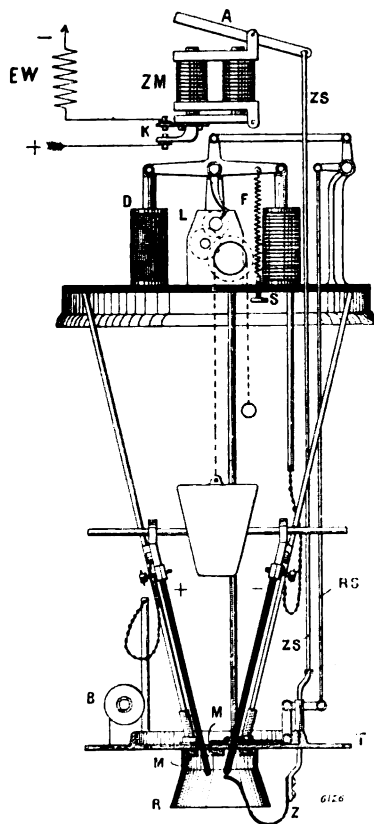


Fig. 6.

dont il vient d'être question, vers le charbon positif. Dès que l'arc jaillit entre les charbons, le courant cesse de passer dans le circuit de l'allumeur.

4. *Pour prévenir une consommation inégale des électrodes*, on a disposé, à l'intérieur du réflecteur R, des masses métalliques refroidissant les électrodes.

5. *Disjoncteur automatique*. — L'aimant allumeur ZM est encore muni d'un autre dispositif K, intercalant au lieu de la lampe une résistance supplémentaire (EW) équivalente à cette dernière, dans le cas où la lampe s'éteindrait, sans pouvoir se rallumer, en raison de la longueur insuffisante des électrodes.

A. Gradenwitz.

Eclairage des voitures de chemins de fer au moyen de l'incandescence par le gaz, par **H. Giraud et G. Mauclère.** *Revue des chemins de fer et tramways*, mai 1903.

Nous croyons utile d'analyser ce travail, quoiqu'il ne traite pas directement d'un sujet électrique, parce que l'incandescence par le gaz est posée dans cet article comme un rival de l'électricité pour l'éclairage des trains.

Le succès des manchons Auer dans les installations fixes fit songer, il y a déjà longtemps, à appliquer le principe de l'incandescence aux brûleurs à gaz des wagons de chemins de fer. Des essais furent entrepris en 1897 à l'Ouest et au P.-L.-M., ainsi que le rappellent les auteurs, en plaçant dans les lanternes des wagons des manchons montés sur ressorts comme dans les candélabres des rues; ces essais ne donnèrent pas de bons résultats et ne furent pas poursuivis, surtout, à notre avis, parce que à ce moment la Société Auer, encore dans la splendeur de son monopole, ne fit aucun effort pour la réussite d'une application qui lui paraissait trop modeste.

Au contraire, lorsqu'au début de 1901, la

Compagnie de l'Est eut l'idée de tenter à nouveau l'essai des manchons incandescents sur les trains, la Société Auer mit tout en œuvre pour faciliter l'expérience, et se donna la peine d'étudier et réaliser gracieusement, de concert avec la *Société internationale d'éclairage* (concessionnaire des appareils à gaz d'huile Pintsch, de Berlin) des modèles spéciaux de becs et de manchons. Le représentant du manchon allemand Hill, dénommé en France « Lumen » vint également offrir des modèles spéciaux de manchons incandescents. Les auteurs, chef de Laboratoire et Inspecteur à la Compagnie de l'Est, rendent compte, dans leur article, des résultats obtenus dans les essais effectués par cette Compagnie.

Les premières expériences, effectuées en octobre 1901 sur un wagon circulant dans la banlieue de Paris avec des manchons fixés sur monture à ressorts, donnèrent lieu à des ruptures rapides des manchons, qui résistèrent au contraire très bien aux trépidations de la marche lorsqu'ils furent placés sur le col de cygne des lanternes à gaz *sans aucune suspension*. Le fait, que les auteurs trouvent curieux, était facile à prévoir pour qui se rappelle la théorie de l'amortissement, magistralement édifiée par Cornu. On sait qu'un ressort amortit toujours les secousses ou vibrations à longue période auxquelles peut être soumis, par exemple, un candélabre fixe; mais qu'il peut avoir, non seulement un effet nul, mais même un effet nuisible de résonance lorsque sa période propre de vibration se trouve coïncider avec celle des mouvements parasites de grande fréquence auxquels est soumis un objet oscillant ou roulant : c'est ce qui explique pourquoi l'on est horriblement secoué dans certains wagons à 2 essieux, à une vitesse déterminée, au delà et en deçà de laquelle le roulement du train est bon.

Les manchons à montage rigide au-dessus d'un col de cygne ont été appliqués en février 1902 sur un wagon, puis en juillet 1902 sur six autres wagons, mis en circulation sur des trains de grande ligne; cinq wagons ont été munis de manchons Auer et deux de manchons Lumen. Tous les réservoirs des wagons, sauf un, ont été remplis comme à l'ordinaire de gaz d'huile comprimé, puis utilisé à basse pression après passage dans un détendeur Pintsch ; un wagon a reçu du gaz de houille comprimé à la même pression. L'incandescence va, paraît-il, encore être appliquée à d'autres wagons de l'Est.

L'allumage des lanternes se fait par le toit du wagon, ce qui évite aux lampistes d'avoir à pénétrer dans les compartiments, mais le nettoyage des lanternes et le remplacement des manchons se font en ouvrant les coupes de l'intérieur pendant les garages des trains; si les brûleurs devaient être sortis des lanternes par la rotation d'une genouillère pour le nettoyage des coupes, comme cela a lieu généralement, beaucoup de manchons seraient brisés par les ouvriers chargés du nettoyage.

Les manchons ont eu une durée bien supérieure à ce qu'on pouvait espérer ; d'après une statistique arrêtée au 30 novembre 1902 et portant sur cinq à six mois de service en moyenne, on a trouvé qu'un manchon, marque Auer, ne se brisait qu'après un parcours de 25 000 km, correspondant dans les trains considérés à 409 heures d'éclairage et 51 jours de service; les manchons Lumen ont eu à peu près la même durée.

Un point important observé, c'est qu'on n'a guère à craindre de trouver, à un moment donné du trajet, le compartiment plongé dans l'obscurité, par la rupture soudaine et complète d'un manchon. Le tissu de ceux-ci commence par se déchirer en un seul point et éclaire encore raisonnablement. Grâce à la disposition adoptée, même si le manchon conique suspendu par une potence se détache entièrement du haut, il tombe dans une galerie annulaire qui le maintient vertical, et il continue à éclairer presque aussi bien que s'il était suspendu. Beaucoup de manchons n'étaient pas déchirés du tout, lorsqu'ils ont été retirés du service; on les a enlevés parce qu'ils n'éclairaient plus assez.

Avec le gaz d'huile, dénommé aussi gaz riche parce qu'il présente par lui-même un pouvoir éclairant plus grand que le gaz ordinaire, on a obtenu par l'incandescence en réglant le détendeur à la pression de 200 mm d'eau, 20 bougies décimales pour un débit de 15 litres. Les becs à gaz d'huile précédemment employés dans les mêmes lanternes consommaient 25 litres et donnaient seulement 9,5 bougies, lorsqu'ils utilisaient la récupération et 6 bougies sans récupération. Dans ces conditions l'économie de gaz est si grande que la dépense de remplacement du manchon, coûtant actuellement 0,40 fr à

0,50 fr, se trouve récupérée au bout de très peu de temps.

Avec le gaz de houille, il a fallu consommer 35 litres pour obtenir 18 bougies. Néanmoins l'emploi de ce gaz est séduisant et va être essayé croyons-nous au P.-L.-M., parce qu'il peut être obtenu à très bon marché et sans création d'usine (il suffirait de prendre du gaz sur des canalisations urbaines et de faire de petites installations très simples de compression), tandis que le gaz d'huile coûte de 0,50 fr. à 0,80 fr. le mètre cube et exige l'installation d'usines spéciales.

Une fois le branle donné par la Compagnie de l'Est, d'autres compagnies ont suivi dans la même voie. La Compagnie des wagons-lits a installé des becs à incandescence semblables à ceux de l'Est sur quelques wagons. On peut voir aussi depuis quelque temps, sur un grand nombre de trains de la ligne d'Auteuil, des wagons de 1re classe de l'Ouest éclairés par des becs à incandescence de forme différente, de la Société du manchon renversé, consistant en une flamme Bunsen dirigée *de haut en bas* et recouverte d'une petite sphère en tissu réfractaire.

Comme il a été dit plus haut, le P.-L.-M. va entreprendre aussi des essais d'incandescence. Il y a donc en ce moment une sorte d'engouement dans les chemins de fer français pour l'éclairage au gaz par incandescence.

Certes ce nouveau système est intéressant pour les Compagnies possédant déjà un matériel nombreux éclairé au gaz d'huile, puisqu'il permet d'augmenter l'éclairage de ces wagons sans autre dépense de première mise que la transformation des lanternes et tout en diminuant les dépenses d'exploitation, ce qui est l'idéal rêvé par les Compagnies de chemins de fer qui rechignent fortement pour améliorer l'éclairage quand il doit en résulter une dépense importante de première mise et un surcroît total de dépense d'exploitation, même si le prix unitaire est moins élevé. Pourtant les chemins de fer feront bien, surtout s'il s'agit de matériel, non encore muni de l'équipement à gaz, de ne pas s'emballer sur le résultat de ces premières expériences, et considérer immédiatement que l'électricité doit être écartée définitivement comme incapable de soutenir la concurrence contre l'incandescence au gaz.

Certes les conclusions de l'article sont très modérées de forme, comme il convient dans une revue quasi-officielle, dont les publications ne voient le jour qu'après avoir été revues et corrigées par toute la série des grands chefs sous lesquels sont placés les auteurs. Mais, précisément parce que dans la *Revue des chemins de fer* tous les mots portent, nous tenons à présenter quelques observations sur ce qui y est contenu dans l'article que nous analysons et surtout sur ce qui n'y figure pas.

Tout d'abord il ne nous paraît pas correct, comme l'ont fait les auteurs dans un tableau comparatif, de juger la valeur respective des divers procédés d'éclairage des trains par la valeur des intensités horizontales des sources lumineuses mesurées au photomètre, au Laboratoire. Ce qui est important à considérer, c'est *l'éclairement* produit par les lanternes sur les diverses places occupées par les voyageurs dans le compartiment. Or, précisément, sur ce point, l'électricité présente un grand avantage sur le gaz; les lampes à incandescence pouvant être fortement descendues, et être placées la pointe en bas au-dessous d'un réflecteur, la plus grande partie de leurs rayons est envoyée vers le bas du compartiment; dans les becs à gaz au contraire, surtout avec manchons incandescents avec flamme ascendante comme à l'Est, une bonne partie des rayons émis horizontalement ou vers le haut échappent au réflecteur et sont perdus. Des essais d'*éclairement*, effectués par exemple avec un photomètre Mascart, dans les compartiments, à hauteur de lecture, montreraient certainement une grande différence dans le coefficient d'utilisation du flux lumineux, en faveur de l'électricité sur le bec incandescent à flamme ascendante; tous les voyageurs qui circulent souvent sur le réseau de l'Est s'en sont d'ailleurs rendu compte par simple observation visuelle; ils ont constaté que dans les wagons éclairés à l'électricité le plafond du compartiment est sombre tandis que dans ceux éclairés avec manchons à gaz il est brillamment et inutilement éclairé, plus que tout le reste du compartiment.

A ce point de vue, le manchon renversé essayé à l'Ouest donne une bien meilleure utilisation de la lumière; on s'en aperçoit en constatant que le plafond est plus sombre que le reste du compartiment. Par contre le manchon renversé a, paraît-il, une durée moins longue que le manchon conique à flamme ascendante et peut se

rompre d'un bloc en cours de route, ce qui plonge le compartiment dans l'obscurité presque complète.

En outre, si on veut réaliser un éclairage luxueux dans les compartiments, on peut obtenir un grand éclairement avec des lampes relativement peu intenses à l'aide d'appliques placées juste au-dessus de la tête des lecteurs. Cette souplesse d'utilisation de l'électricité constitue un grand avantage que ne peut revendiquer le gaz.

Si l'on considère, en plus de l'utilisation, la répartition du flux lumineux, l'électricité présente encore un avantage sérieux sur le gaz. Les auteurs semblent indiquer comme un succès le fait d'avoir placé dans un compartiment une source unique à gaz d'intensité lumineuse supérieure à une source lumineuse électrique fournie par deux lampes. C'est au contraire un défaut du gaz de ne pouvoir se prêter sans dépenses excessives d'installation à la division de la lumière comme l'électricité : il ne coûte pas beaucoup plus cher de mettre deux petites lampes au lieu d'une grosse dans un compartiment et l'on obtient un éclairement beaucoup plus uniforme qu'avec un seul foyer à gaz : il serait impraticable, comme encombrement et comme prix, de mettre deux lanternes à gaz à manchon dans un seul compartiment.

Un autre point sur lequel nous voulons appeler l'attention, c'est que dans leur tableau comparatif, les auteurs ont pris l'intensité lumineuse d'un manchon *neuf*. Or si les lampes électriques perdent un peu de leur intensité avec le temps, chacun sait, pour l'avoir observé dans les installations fixes, que les becs Auer perdent, eux, beaucoup de leur pouvoir éclairant. Le même fait s'est produit sur les wagons puisqu'on a dû réformer des manchons non déchirés, pour insuffisance de lumière. Ceci est très bien pendant une période d'essai où tout le personnel, se sentant surveillé, exerce une attention soutenue sur le petit nombre des appareils en expérience. Mais en service courant, si le système était appliqué par exemple sur tout un réseau, le personnel laisserait souvent en service, parce qu'ils ne seraient pas déchirés, des manchons ayant perdu une grande partie de leur pouvoir éclairant; on répondra qu'ils éclaireront encore plus qu'une lampe à huile; c'est juste, mais alors il n'y aura plus guère de progrès réalisé. Il est à craindre aussi, en cas d'emploi étendu de l'incandescence, que la proportion de manchons cassés par maladresse des agents sur les lanternes ou dans les magasins, insignifiante pendant les essais, ne produise alors un déchet sérieux.

Les auteurs ne sont pas bien clairs lorsqu'ils déclarent dans leur conclusion, que l'incandescence par le gaz « peut soutenir la concurrence avec l'éclairage électrique »; s'ils entendent par là que les manchons à gaz permettent d'obtenir les mêmes pouvoirs éclairants que l'électricité; ce n'est pas exact, car rien — sauf la dépense — ne limite la puissance lumineuse que l'on peut fournir dans un compartiment avec des lampes à incandescence, tandis que des difficultés matérielles d'encombrement limitent l'éclairage que l'on peut donner par le gaz.

Les auteurs n'ont pas fait de comparaison, au point de vue du prix de revient, entre l'électricité et l'incandescence par le gaz; on ressent pourtant l'impression, en lisant leur travail qui fait ressortir, en même temps qu'une économie de gaz considérable un pouvoir éclairant intense obtenu par les manchons, que l'électricité ne peut pas arriver à des prix comparables.

Chez des particuliers, abonnés à un secteur de grande ville, il est reconnu que le bec Auer revient moins cher que la lampe à incandescence, mais il est admis aussi que chez un industriel, qui produit la vapeur à bon marché, l'éclairage électrique peut être plus économique que le gaz. De même nous croyons qu'en se plaçant dans des conditions analogues, les chemins de fer peuvent éclairer à meilleur compte leurs trains par l'électricité que par le gaz.

Tout d'abord il faut tenir compte de l'économie que permet de réaliser l'éclairage électrique sur le gaz, dans les frais d'allumage et de nettoyage des lanternes, à condition bien entendu d'être appliqué sur une grande échelle. En France les Compagnies de chemins de fer n'ont guère pu s'apercevoir de cet avantage commercial de l'électricité, car, sauf sur les lignes de Sceaux et de Ceinture, on n'a monté l'éclairage électrique que sur une portion extrêmement réduite du matériel, et probablement pas un des anciens lampistes n'a été supprimé tandis que l'on créait forcément un petit personnel électrique supplémentaire.

Ensuite, et c'est là le point important, si l'éclai-

rage électrique des trains revient cher aux Compagnies françaises, c'est parce qu'elles ont adopté les systèmes surannés par accumulateurs seuls. Elles en sont seulement à l'essai sur quelques wagons des systèmes avec dynamo sur chaque véhicule qui, sur certains chemins de fer anglais ou belges, atteignent un millier d'équipements et donnent alors, appliqués sur cette échelle, de bons résultats économiques. Mais ce sont surtout les systèmes dans lesquels une dynamo unique alimente tout un train, tels que ceux qui ont été essayés récemment en Autriche et en Allemagne, qui permettent de réaliser l'éclairage des trains à un taux très bas et tel qu'il peut (c'est notre sentiment, que nous ne pouvons évidemment étayer sur des données chiffrables) être inférieur à celui de l'incandescence par le gaz.

Enfin il ne faut pas oublier que l'éclairage électrique est exempt des dangers d'incendie ou d'explosion que peut faire courir l'éclairage au gaz, sur un train, en cas de collision.

J. Reyval.

DIVERS

Longueur d'étincelle et différence de potentiel de décharge initiale dans l'air à la pression atmosphérique, par **M. Toepler**. *Drude's Annalen*, t. X, p. 730-748, avril 1903.

Longueur d'étincelle. — Quand l'afflux d'électricité aux électrodes est discontinu, l'étincelle peut se produire pour les intensités de courant même les plus faibles, ou seulement quand cette intensité atteint une certaine limite.

Les courbes de la figure 1 représentent la variation en fonction de la distance des électrodes (abscisses) de la différence de potentiel initiale (OMA) et de la différence de potentiel limite de la décharge par aigrette ou de la décharge striée (MC). La première tend vers une limite finie quand l'écartement des électrodes augmente indéfiniment, tandis que la seconde croît sans limite. L'étincelle se produit quand la différence de potentiel atteint la valeur représentée par OMC; de O en M (région I) pour n'importe quelle intensité; de M en C (région II) seulement au-dessus d'une certaine valeur de cette intensité.

Si la source ne peut fournir une différence de potentiel supérieure à Ob, on ne peut avoir dans la région III que la décharge par aigrette ou la décharge striée; dans la région IV aucune décharge lumineuse n'est possible.

La figure 1 se rapporte à des électrodes sphériques de dimension déterminée; mais les cour-

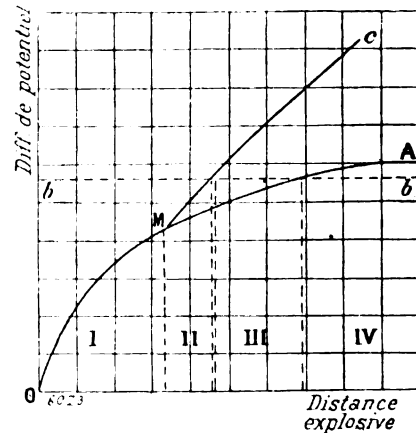


Fig. 1.

bes gardent la même allure générale, quelles que soient la forme et la dimension des électrodes.

On peut construire des courbes en prenant

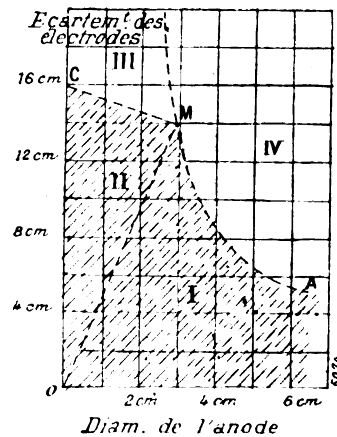


Fig. 2.

pour abscisses le diamètre des électrodes et pour ordonnées la distance explosive. On arrive ainsi à partager le plan en quatre régions, qui sont caractérisées par les formes de décharge qui sont susceptibles de se produire. D'après ce qui précède, la décharge par étincelle est possible seulement dans deux de ces régions : I et II; c'est la limite de ces régions qui est à déterminer.

I. *Étincelle entre une anode sphérique et un*

disque de 60 cm de diamètre. — La figure 2 représente les courbes dans le cas où la source donne un grand débit (machine à 60 plateaux), où la différence de potentiel maxima est de 80 000 volts et le courant d'électricité rendu discontinu par la présence d'un petit exploseur sur l'un des fils.

L'étincelle se produit dans les régions I et II (hachurées sur la figure) ; dans la région I, pour toute intensité de courant, dans la région II seulement quand l'intensité atteint une limite déterminée. La courbe CMA représente en fonction du diamètre de l'anode la longueur maxima

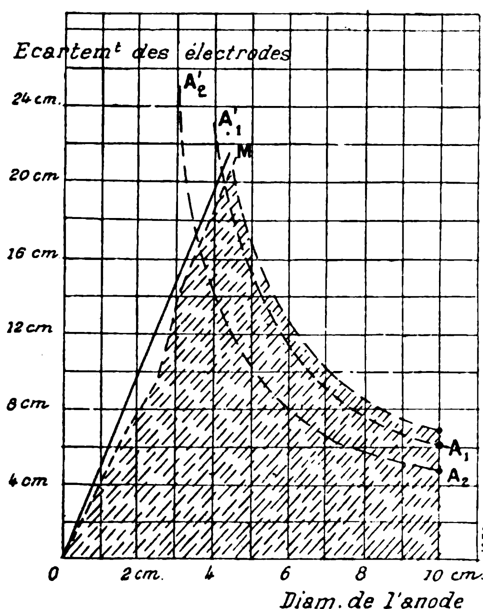


Fig. 3.

d'étincelle qu'on peut obtenir avec 80 000 volts ; la portion CM correspond au cas où la différence de potentiel explosive est égale à la différence de potentiel limite de l'aigrette ou de la décharge striée ; la portion MA au cas où elle est égale à la différence de potentiel initiale. Enfin la courbe OM donne les diamètres de l'anode pour lesquels la différence de potentiel initiale est égale à la différence de potentiel limite de l'aigrette. Si la source n'a qu'un faible débit, l'étincelle ne se produit que dans la région I, où elle exige seulement une faible intensité de courant (fig. 3); il faut que la différence de potentiel explosive se confonde avec la différence de potentiel initiale.

II. *Etincelle entre deux électrodes sphériques.* — Lorsque les deux électrodes sont symétriques, la partie positive de la décharge est prépondérante, aussi les phénomènes conservent la même allure que dans le cas précédent.

Pour obtenir la plus grande longueur possible de l'étincelle avec de faibles débits, il faut donner aux électrodes une capacité notable, jusqu'à 15 cm ; quelques centaines de centimètres suffisent ; une augmentation de la capacité au-dessus de ces valeurs n'a plus d'effet. Même entre de petites électrodes, on peut obtenir de longues étincelles, si on relie brusquement la bouteille de Leyde *chargée* aux pôles de l'exploseur.

Avec une bobine d'induction fonctionnant à basse fréquence, les résultats sont les mêmes.

En particulier, comme dans les cas précédents, la courbe OM se confond sensiblement avec une droite ; c'est ce qui arrive quand la différence de potentiel maxima se produit lentement et reste à peu près constante pendant l'étincelle. Mais si la différence de potentiel n'atteint son maximum que pendant un temps très court ou si elle diminue déjà pendant la formation de l'aigrette, la courbe OM devient concave vers l'axe des abscisses ; c'est ce qu'on observe en prenant comme source un transformateur à haute tension.

II. *Différences de potentiel initiales.* — 1. *Electrode sphérique et électrode plane.* — Les courbes d'égale différence de potentiel initiale interceptent sur les droites passant par l'origine des segments proportionnels. Par conséquent, on doit pouvoir représenter la différence de potentiel V correspondant à une distance a quelconque par une équation de la forme :

$$V = V_\infty \varphi\left(\frac{a}{d}\right),$$

V_∞ étant la différence de potentiel qui répond à une distance infinie, d le diamètre de la sphère, la fonction φ tendant asymptotiquement vers 1 quand a augmente indéfiniment. La formule empirique :

$$\varphi\left(\frac{a}{d}\right) = \frac{\frac{a}{d} + 0,5}{\frac{a}{d} + 2,9}$$

représente d'une manière satisfaisante les expériences.

2. *Deux électrodes sphériques.* — Les courbes ayant la même propriété que ci-dessus, on peut écrire :

$$V = V_\infty \psi\left(\frac{a}{d}\right)$$

Si l'une des électrodes est reliée au sol,

$$V = V_\infty \chi\left(\frac{a}{d}\right)$$

Au voisinage d'une anode sphérique placée en face d'un plan, la distribution du champ est la même que si le plan était remplacé par une sphère identique à l'anode placée à la distance $2a$.

Si dans le premier cas la différence de potentiel initiale est V, dans le second, on peut prévoir qu'elle sera 2V. En fait, cette égalité se vérifie pour les valeurs de $\frac{a}{d}$ inférieures à 3, au delà les distances explosives réelles sont plus grandes qu'on ne le calcule par cette relation.

Pour les distances explosives qui sont petites relativement au diamètre des électrodes, V doit être le même, que l'une des électrodes soit reliée ou non au sol, c'est-à-dire que les valeurs de ψ et de $\frac{1}{2}\chi$ ne diffèrent pas d'une manière sensible.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 4 mai 1903

Dynamomètre de transmission donnant directement la puissance en kilogrammètres : seconde, par **Gaiffe et Gunther**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1058.

Un dynamomètre de transmission est armé de deux disques munis chacun d'un secteur conducteur ayant 180° environ et reliés électriquement entre eux. Sur ces disques frottent deux balais calés de telle façon que, lorsqu'aucun effort n'est transmis, un ressort quitte sa coquille conductrice au moment même où l'autre ressort entre sur la sienne. Dès qu'il y a un effort à transmettre, il se produit un décalage entre les deux disques, décalage proportionnel à l'effort transmis et qui a pour effet de faire toucher les deux ressorts en même temps sur les coquilles pendant un temps exactement proportionnel à l'effort transmis.

Si un circuit électrique composé d'une source à potentiel constant et d'un ampèremètre sans self-induction est relié à ce dynamomètre, l'intensité moyenne qui passera par l'ampèremètre sera exactement proportionnel au temps de contact des ressorts sur les coquilles et, par conséquent, à l'angle de décalage. On pourra donc lire sur l'instrument taré à l'avance l'effort transmis. Si au lieu de faire la force électromotrice constante, on la fait proportionnelle à la vitesse de rotation de l'ensemble, on lira sur le galvanomètre non pas seulement l'effort transmis, mais le produit de l'effort par la vitesse, c'est-à-dire la puissance en kilogrammètres.

Il suffit, pour obtenir une force électromotrice proportionnelle à la vitesse, de se servir comme génératrice soit d'une magnéto, soit d'une dynamo à champ constant, entraînée à une vitesse proportionnelle à la vitesse de l'ensemble.

Ces différentes mesures peuvent s'enregistrer sur un ampèremètre enregistreur avec lequel on aura le graphique de la puissance transmise à chaque instant, et d'un autre côté le travail total effectué pourra être totalisé sur un compteur électrique d'intensité.

Théorie du dichroïsme magnétique et électrique, par **Georges Meslin**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1059-1061.

L'auteur a étudié précédemment [1] le dichroïsme que présentent certaines liqueurs lors-

[1] *Écl. Élect.*, t. XXXIV, avril 1903.

qu'on les place dans le champ magnétique ou électrique : ces liqueurs sont constituées par un liquide associé à un solide cristallin, et l'on peut, avec un même solide, donner naissance au dichroïsme positif ou négatif, suivant le liquide qui les tient en suspension ; d'ailleurs, ces inversions ne se produisent pas toujours et, pour certains solides, le signe du dichroïsme reste le même pour différents liquides avec lesquels on les associe. Tous ces phénomènes complexes peuvent se résumer en disant que le corps solide n'a pas d'action propre, d'une manière absolue, mais que son action est relative au milieu dans lequel il est disséminé.

Il est possible encore de simplifier la description de ces apparences en formant un tableau dans lequel on met à la suite les uns des autres les différents corps solides S, S′, S″, ainsi que les liquides L, L′, L″ et en remarquant qu'on peut les ranger dans un ordre tel que tout groupement d'un solide et d'un liquide donne une liqueur à dichroïsme négatif si le solide est avant le liquide et à dichroïsme positif s'il est après lui.

M. Meslin a été amené d'abord à formuler cette règle pour des associations dans lesquelles le solide avait un indice supérieur au liquide ; lorsque cette condition est réalisée, il n'a trouvé qu'une exception ; mais, lorsqu'il a voulu l'étendre au cas où le solide avait un indice inférieur au liquide, il a constaté que, sans exception, la règle devait être prise en sens inverse. L'indice intervient donc et cette circonstance est tout à fait conforme à la théorie qui va être indiquée.

Il en résulte d'abord que l'énoncé précédent doit être généralisé de la façon suivante : *On doit, dans le tableau en question, mettre en regard de chaque corps son numéro d'ordre et son indice, puis faire le produit des différences des numéros d'ordre par les différences d'indices : le signe algébrique de ce produit indiquera le signe du dichroïsme.*

Ce tableau met donc en évidence la relativité par rapport au liquide environnant, et l'on est ainsi amené à voir une analogie avec les phénomènes de paramagnétisme et de diamagnétisme, où se manifeste l'influence du milieu ambiant [1].

[1] Si l'on tient compte alors de ce fait que, ne sont actives que les liqueurs qui contiennent en suspension des particules solides et spécialement des cristaux, à l'exclusion des poudres amorphes, on peut imaginer que les choses se passent de la façon suivante :

« Le liquide contient en suspension des lamelles cristallines plus ou moins magnétiques par rapport à lui, si bien que dans le champ d'un électro-aimant elles se comportent comme para- ou diamagnétiques. Si, pour fixer les idées, on suppose que chacune de ces lamelles ait un axe magnétique situé dans son plan et qui s'oriente alors sous l'influence du champ, il est possible de démontrer que dans les deux cas l'assemblage de ces lamelles prend une structure dissymétrique, d'où résulte une inégalité d'action sur les deux composantes principales de la lumière traversant cette masse.

» Premier cas. — *Particules magnétiques.* — Tous les axes s'orientent parallèlement au champ ; en considérant l'un d'eux, il faut en outre envisager les directions des plans des lamelles par rapport à cet axe, dont le champ détermine seulement la direction; elles peuvent en effet s'orienter d'une façon quelconque autour de cet axe, mais toutes sont parallèles au champ magnétique et la vibration parallèle à ce champ les aborde parallèlement à la surface, c'est-à-dire perpendiculairement au plan d'incidence, tandis que les vibrations perpendiculaires au champ sont dans le plan d'incidence et (si le solide est plus réfringent) leur modification par la transmission est toujours moindre que celle qui atteint les autres composantes ; l'effet est en somme le même que si l'on recevait un faisceau lumineux sur une lame inclinée (déviation du plan de polarisation avec la lumière polarisée, production de lumière partiellement polarisée avec la lumière naturelle). On est en présence d'une structure anisotrope qui, sans entraîner de biréfringence, entraîne le dichroïsme dans le sens général du mot, c'est-à-dire une inégalité de modification plutôt qu'une inégalité d'absorption.

» Deuxième cas. — *Particules diamagnétiques.* — Les axes ne s'orientent pas parallèlement entre eux; ils se mettent perpendiculairement au champ, généralement non uniforme, en se groupant dans la partie médiane ; ils prennent toutes les directions du plan équatorial et, autour de chacune de ces directions, les lamelles se placent dans tous les azimuts. Mais cette complexité apparente disparaît si l'on groupe toutes ces lamelles d'une certaine façon, de manière à montrer que les lames associées autour de l'axe vertical fournissent l'action prépondérante.

» Considérons, en effet, dans le plan équatorial qui contient les axes et qui est supposé vertical, une direction OA ; prenons une direction OA′ qui fasse avec l'horizontale le même angle que OA avec la verticale ; des lamelles sont distribuées également autour de OA et de OA′ et l'on peut démontrer qu'à tout plan P passant par OA correspond un plan P′ passant par OA′, incliné sur la composante verticale et sur l'horizontale, comme P

Répulsion de la lumière anodique par les rayons cathodiques, par **Salles**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1061-1062.

Dans son mémoire de 1869, Hittorf revient à plusieurs reprises sur cette idée que dans un

tube évacué, à partir d'un certain degré de vide, la cathode repousse la lumière anodique.

Il y a environ deux ans, M. Séménoff, en prenant comme cathodes les électrodes 1 et 3 (sur un même diamètre) d'un tube bi-anodique et comme anode l'électrode 2 (sur un diamètre incliné à 45° sur le précédent), vit reparaître la lueur anodique sous forme d'un cône bleu ayant son sommet sur l'anode, sa base sur la paroi de l'ampoule et dirigé verticalement. M. Séménoff pensa que, dans les cas ordinaires où l'on n'observait pas de lueur anodique, ce n'était pas l'influence de la cathode qui intervenait, mais bien celle du faisceau cathodique, car, dans son dispositif, la lueur prenait naissance en un point protégé de l'électrode 1, par la tige supportant l'anode et de 3 par la paroi de l'anode.

Il est facile de constater que cette répulsion a lieu et que la lueur prend bien naissance dans ces conditions. Supposons que la projection de l'électrode 2 sur le plan de 1 couvre presque totalement cette dernière, et que 3 ait à peu-près les mêmes dimensions que 2 ; prenons comme cathode 1 et comme anode 2, le phénomène suivant prend alors naissance. De la face de 2 opposée à celle tournée du côté de 1 part un tronc de cône lumineux bleu très brillant ayant pour base l'anode, et la circonférence de diamètre ab, où la phosphorescence du verre prend fin. Relions maintenant 3 à 1 électriquement, immédiatement le tronc de cône se redresse et se transforme en un pinceau bleu lumineux partant de l'anode, s'aplatissant contre la paroi de cette électrode vis-à-vis de 3 et s'épanouissant ensuite verticalement de façon à atteindre la paroi de l'ampoule. Dans le cas où 3 est plus grand que les autres électrodes, et que la projection de 2 sur 1 n'occupe qu'une faible partie de celle-ci, le phénomène a l'aspect d'une houppe lumineuse bleue très brillante dont l'auteur a pu prendre une photographie.

Afin de se rendre compte que le faisceau cathodique influe, il suffit d'examiner la direction de la lueur anodique, dans les tubes de Crookes classiques, où le faisceau cathodique n'est indiqué que par une tache phosphorescente. Ces tubes comportent plusieurs anodes et servent à démontrer que la position de l'anode n'influe pas sur la production des rayons cathodiques. On remarque que, lorsque la tache lumineuse a lieu près d'une anode, la lueur anodique est déviée d'une façon très appréciable. Cette répulsion d'un caractère mécanique ne semble pouvoir être due qu'au faisceau cathodique.

Si donc on peut réaliser un dispositif tel que l'anode se trouve à l'abri du rayonnement cathodique, la lumière anodique sera parfaitement observable. M. Salles a réalisé cette expérience avec un tube formé d'une ampoule à laquelle sont soudés des tubes de verre en croix. Les branches horizontales contiennent les cathodes, la branche supérieure l'anode bien protégée du rayonnement cathodique. Dans ce cas, le tube fonctionne ; on aperçoit à l'anode un beau faisceau bleu-lilas qui s'arrête à l'endroit où le verre commence à devenir phosphorescent.

---

l'est lui-même sur l'horizontale et sur la verticale ; de plus, il y en a de part et d'autre le même nombre, si bien qu'en les associant deux à deux, on reconnait que les modifications subies par les deux composantes sur ces deux groupes sont égales. Mais ce raisonnement ne peut se répéter ni pour l'axe vertical OV, ni pour l'axe horizontal OH, ni pour l'axe OZ incliné à 45°, dont le conjugué n'est pas distinct de lui-même ; on démontre enfin que les lamelles groupées autour de OH sont inefficaces, et que celles groupées autour de OZ s'associent deux à deux pour détruire leur inégalité d'action, si bien qu'il ne reste finalement que les lamelles verticales ; pour les mêmes raisons que plus haut, la composante verticale subira la modification la plus importante si le solide est le plus réfringent : ce sera le cas du dichroïsme négatif. On aura encore, comme dans le premier cas, le résultat inverse si le solide est moins réfringent que le liquide.

» A l'appui de cette théorie, l'auteur a constaté, par l'examen au microscope des liquides actifs, que les petits cristaux qui s'y trouvent sont sous forme de lamelles, de petites tables ; il est inutile d'ailleurs de s'adresser spécialement à des liqueurs colorées pour observer ce phénomène; des cristaux incolores tels que le sulfate de magnésie présentent ce dichroïsme, lorsqu'ils sont en suspension dans l'alcool, où ils se trouvent sous forme de lamelles, tandis que le précipité cristallin de phosphate ammoniaco-magnésien, formé par les aiguilles ramifiées, est absolument inactif dans l'eau aussi bien que dans le sulfure de carbone. Une liqueur ne sera donc active que si les cristaux obéissent à certaines conditions de forme, de densité, d'indice, etc. »

Séance du 11 mai 1903

Sur l'existence, dans les radiations émises par un bec Auer, de rayons traversant les métaux, le bois, etc., par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1120-1122.

Un tube focus émet, comme l'auteur l'a cons-

tété, certaines radiations analogues à la lumière, et susceptibles de traverser les métaux, le papier noir, le bois, etc. (¹). Parmi ces radiations, il en existe pour lesquelles l'indice de réfraction du quartz est voisin de 2. D'autre part, l'indice du quartz pour les rayons restant du sel gemme, découverts par le professeur Rubens, est 2,18. Cette ressemblance des indices conduit M. Blondlot à penser que les radiations observées dans l'émission d'un tube focus pourraient bien être voisines des rayons de Rubens, et que, par suite, on pourrait peut-être les rencontrer dans l'émission d'un bec Auer, qui est la source de ces rayons. Il a alors fait l'expérience suivante : Un bec Auer est enfermé dans une sorte de lanterne en tôle de fer, close de toutes parts, à l'exception d'ouvertures destinées au passage de l'air et des gaz de la combustion et disposées de manière à ne laisser échapper aucune lumière ; une fenêtre rectangulaire large de 4 cm, haute de 6,5 cm, pratiquée dans la tôle à la hauteur du manchon incandescent, est fermée par une feuille d'aluminium épaisse d'environ 0,1 mm. La cheminée du bec Auer est en tôle de fer ; une fente large de 2 mm et haute de 3,5 cm y a été pratiquée vis-à-vis le manchon, de façon que le faisceau lumineux qui en sort soit dirigé sur la feuille d'aluminium. Hors de la lanterne, et devant la feuille d'aluminium, on place une lentille biconvexe en quartz ayant 12 cm de distance focale pour la lumière jaune, puis, derrière cette lentille, l'excitateur donnant de très petites étincelles décrit dans une note précédente (²) : l'étincelle est produite par une bobine d'induction extrêmement faible, munie d'un interrupteur tournant fonctionnant avec une très grande régularité.

La distance p de la lentille à la fente étant de 26,5 cm, on constate, à l'aide de la petite étincelle, l'existence d'un foyer d'une grande netteté à une distance $p' = 13,9$ cm environ : en ce point, en effet, l'étincelle prend un éclat notablement plus grand qu'aux points voisins, situés soit en avant ou en arrière, soit à gauche ou à droite, soit plus haut ou plus bas ; la distance de ce foyer à la lentille peut être déterminée à 3 mm ou 4 mm près. L'interposition d'une lame de plomb ou de verre épais de 4 mm fait disparaître l'action sur l'étincelle. En faisant varier la valeur de p, on obtient d'autres valeurs de p', et en substituant ces valeurs dans l'équation des lentilles, on obtient pour l'indice la valeur 2,93, moyenne de déterminations aussi concordantes qu'on pouvait l'attendre du degré de précision des observations. Des expériences analogues, exécutées à l'aide d'une autre lentille de quartz ayant une distance focale principale de 33 cm pour les rayons jaunes, ont donné pour l'indice la valeur 2,942.

En poursuivant ces expériences, M. Blondlot a constaté l'existence de trois autres espèces de radiations, pour lesquelles l'indice du quartz a les valeurs respectives 2,62 ; 2,436 ; 2,29. Tous ces indices sont plus grands que 2, ce qui explique le fait suivant : en plaçant sur le trajet des rayons sortant de la lentille un prisme de quartz dont l'angle réfringent est de 30°, disposé de façon à recevoir ces rayons dans une direction sensiblement normale à l'une des faces réfringentes, on n'obtient pas de faisceau réfracté.

Les radiations émises par un bec Auer à travers une lame d'aluminium sont réfléchies par une lame de verre poli suivant les lois de la réflexion régulière, et sont diffusées par une lame de verre dépoli.

Ces radiations traversent toutes les substances dont on a essayé la transparence, à l'exception du sel gemme, sous une épaisseur de 3 mm ; du plomb, sous une épaisseur de 0,2 mm ; du platine, sous une épaisseur de 0,4 mm et de l'eau. Une feuille de papier à cigarettes, qui est complètement transparente quand elle est sèche, devient absolument opaque lorsqu'elle est imbibée d'eau.

Les impressions photographiques sont produites par la petite étincelle, modifiée par les rayons, et non par les rayons eux-mêmes : ceux-ci n'ont produit aucun effet photographique appréciable au bout d'une heure de pose.

Parmi les corps traversés, l'auteur cite le papier d'étain, des feuilles de cuivre et de laiton de 0,2 mm d'épaisseur, une lame d'aluminium de 0,4 mm, une lame d'acier de 0,05 mm, une lame d'argent de 0,1 mm, un cahier de papier contenant 21 feuilles d'or, une lame de verre

(¹) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 23 mars 1903. *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 118.

(²) *Comptes rendus*, t. CXXXVI, 2 février 1903. *Écl. Élect.*, t. XXXIV, p. 161.

de 0,1 mm, une lame de mica de 0,15 mm, une plaque de spath d'Islande de 4 mm, une plaque de paraffine de 1 cm, une planche de hêtre de 1 cm, une lame de caoutchouc noir de 1 mm, etc. La fluorine est peu transparente sous une épaisseur de 5 mm, de même le soufre sous une épaisseur de 2 mm, et le verre sous celle de 1 mm. M. Blondlot ne donne tous ces résultats que comme une première indication, car on n'a pas tenu compte, pour les obtenir, de la coexistence de quatre espèces de radiations dont les propriétés peuvent être différentes. « Il sera, dit-il, d'un haut intérêt de rechercher si d'autres sources, et en particulier le soleil, n'émettent pas des radiations analogues à celles qui font l'objet de la présente note, et aussi si celles-ci ne produisent pas d'action calorifique. »

« Maintenant, ajoute-t-il, ces radiations doivent-elles être, en réalité, considérées comme voisines des radiations à très grandes longueurs d'onde découvertes par le professeur Rubens ? Leur origine commune dans l'émission d'un bec Auer est favorable à cette opinion ; l'opacité du sel gemme et de l'eau l'est aussi. Mais, d'autre part, la transparence pour les rayons du bec Auer des métaux et d'autres substances opaques pour les rayons de Rubens constitue une différence, en apparence, radicale, entre ces deux espèces de radiations. »

Sur les effets thermomagnétiques dans les alliages bismuth-plomb, par **M. Edmond van Aubel**. — *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1131-1133.

A. von Ettingshausen et W. Nernst [1] ont découvert les deux phénomènes suivants dans une plaque de bismuth placée normalement aux lignes de force d'un champ magnétique :

1° Il se produit une différence de potentiel entre deux points de cette lame situés sur une perpendiculaire à la direction d'un flux calorifique. Cette différence de potentiel change de signe avec le champ magnétique et s'appelle l'*effet thermomagnétique transversal ;*

2° Une différence de potentiel s'observe aussi dans la direction du courant calorifique, sous l'action du magnétisme ; c'est l'*effet thermomagnétique longitudinal*, qui ne change pas de sens avec la force magnétique et peut être considéré comme une modification du pouvoir thermo-électrique du bismuth [1].

Ces deux actions sont surtout manifestes dans le bismuth. Pour le plomb, la première est trop faible pour que son existence puisse être affirmée avec certitude [2] ; quant à la seconde, elle n'a pas même pu être observée dans l'antimoine [3].

M. van Aubel s'est proposé d'examiner ces deux phénomènes thermomagnétiques, transversal et longitudinal, pour quelques alliages du bismuth avec de petites quantités de plomb [4].

Les expériences ont été faites avec plusieurs plaques et notamment les trois suivantes : une de bismuth, fourni comme très pur par la fabrique de produits chimiques Kahlbaum, à Berlin ; une autre formée par un alliage contenant 0,57 gr de plomb pour 99,43 gr de bismuth ; enfin, une troisième réalisée avec un alliage renfermant 3,56 gr de plomb pour 96,44 gr de bismuth. Ces trois plaques, d'une épaisseur de 4 mm, avaient la forme de rectangles dont les côtés mesuraient 45 mm et 23 mm. Chacune d'elles était parcourue par un flux de chaleur dont la direction était parallèle aux longs côtés des rectangles. A cet effet, sur toute la longueur des petits côtés de ces rectangles, les plaques étudiées étaient serrées par des pièces en laiton et chacune de celles-ci était traversée par un tube de ce métal. La plaque de bismuth ou d'alliage portait donc deux tubes métalliques, dont l'un était parcouru par un courant de vapeur d'acétone, tandis que l'on faisait circuler de l'eau froide dans l'autre.

Des conducteurs en cuivre étaient soudés aux milieux des côtés des rectangles formés par les plaques ; ils pouvaient être réunis par couples

(1) *Wiedemann Annalen*, vol. XXXI, 1887, p. 760.

(1) E. VAN EVERDINGEN. *Recherches sur les phénomènes que présentent les métaux traversés par un courant électrique ou calorifique dans un champ magnétique.* (*Archives néerlandaises des Sciences exactes et naturelles*, 2e série, t. IV, 1901, p. 378.)

(2) W. NERNST, *loc. cit.*, p. 773 et 775.

(3) W. NERNST, *loc. cit.*, p. 779.

(4) G. SPADAVECCHIA. (*Nuovo Cimento*, 4e série, t. X, 1899, p. 161) a étudié l'influence du magnétisme sur les propriétés thermo-électriques des alliages bismuth-plomb.

aux bornes d'un galvanomètre Deprez-d'Arsonval très sensible. Enfin les plaques étaient placées entre les pièces polaires d'un fort électro-aimant, normalement aux lignes de force du champ magnétique, et se trouvaient sur toute leur étendue soumises à l'action du magnétisme.

Dans l'étude de l'effet longitudinal, on a annulé par compensation, suivant la méthode habituelle, la déviation du miroir du galvanomètre résultant du courant thermo-électrique qui existe avant l'excitation de l'électro-aimant.

Le tableau suivant contient un résumé des résultats obtenus, c'est-à-dire les déviations que produit sur le miroir du galvanomètre l'action seule de l'électro-aimant.

		Effet longitudinal.	Effet transversal.
Bismuth pur. .	sens de l'aimantation (A)	+ 4,96	— 4,30
	autre sens de l'aimantation (B). .	+ 4,23	+ 4,24
Bismuth. 99,43 / Plomb. . 0,57	sens de l'aimantation (A)	— 2,42	— 9,26
	autre sens de l'aimantation (B). .	— 4,56	+ 9,26
Bismuth. 96,44 / Plomb. . 3,56	sens de l'aimantation (A)	— 5,50	— 7,54
	autre sens de l'aimantation (B). .	— 7,74	+ 8,33

Ces expériences permettent de tirer les conclusions suivantes :

1° *Effet longitudinal.*— Pour le bismuth pur, on observe que la force électromotrice thermo-électrique du couple formé avec le cuivre augmente par l'action du magnétisme. En introduisant des traces de plomb dans le bismuth pur, on trouve que la force électromotrice thermo-électrique diminue sous l'influence du champ magnétique. Une quantité plus grande de plomb accentue encore cette diminution, au point qu'elle devient supérieure à l'accroissement de la force électromotrice observée avec le métal pur. En outre, avec les alliages bismuth-plomb que j'ai étudiés, les déviations se produisent du même côté, mais ont des valeurs très différentes suivant le sens de l'aimantation. Le plomb ne donnant pas lieu à un effet thermomagnétique longitudinal, il existe un alliage bismuth-plomb qui fournit des valeurs négatives et maxima.

2° *Effet transversal.* — La présence de traces de plomb a pour résultat d'augmenter considérablement la valeur de l'effet transversal, sans en changer le sens. Le phénomène, qui est nul dans le plomb pur, est le plus intense pour un alliage déterminé de bismuth avec des traces de plomb.

» Les influences si différentes produites par la présence du plomb dans les alliages étudiés paraissent prouver que les deux effets thermomagnétiques ne sont pas connexes [1]. Ces recherches seront d'ailleurs poursuivies [2]. »

Sur l'électrolyse des sulfures alcalins, par **André Brochet** et **Georges Ranson**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1134-1136.

L'électrolyse du sulfure de sodium a été étudiée par Durkee [3] qui, se basant sur ce fait que les chlorures alcalins donnent des chlorates, pensa que les sulfures alcalins doivent donner des sulfates. Il constata, en effet, dès le début de l'opération, qu'une certaine quantité de sulfate prend naissance, en même temps qu'il y a formation d'hyposulfite auquel correspond une quantité équivalente de soude caustique mise en liberté, puis cet hyposulfite est oxydé à son tour, l'alcalinité disparaît de sorte que le sulfure se trouve transformé intégralement en sulfate. Luckow [4], Bartoli et Papasogli [5] ont constaté également cette oxydation. Les derniers auteurs signalent cependant un dépôt de soufre à l'anode.

Les auteurs ont vérifié ces réactions en solution étendue ; mais si l'on opère avec une solution concentrée de sulfure vers 50°-70°, le processus est tout différent. Il y a formation uniquement de soufre à l'anode, à la cathode de sodium, c'est-à-dire de soude et d'hydrogène.

Le soufre ainsi libéré se dissout dans la solution concentrée de sulfure pour donner des polysulfures et le liquide incolore jaunit peu à peu. Mais, au fur et à mesure que la solution tend à s'enrichir en soufre, celui-ci se combine à l'hydrogène cathodique, pour donner de l'hydrogène sulfuré et régénérer le sulfure primitif. On ob-

---

(1) Voir aussi W. Nernst, *loc. cit.*, p. 783.

(2) Les compositions des alliages dont il a été question dans cette Note ont été déterminées par des analyses, qui ont été faites sur les plaques mêmes par M. Maurice Duyk. Qu'il me soit permis de lui adresser ici mes remerciements.

(3) *American chemical Journal*, t. XVIII, p. 125.

(4) Peters. *Angewandte Elektrochemie*, t. II, p. 271.

(5) *Gaz. chim. ital.*, t. XIII, p. 37.

tient de ce fait les deux réactions inverses, représentées ci-après :



$$Na^2S + 2H^2O \rightleftarrows 2NaOH + H^2 + S. \qquad (1)$$

L'emploi d'un diagramme empêche la seconde de se produire.

Les auteurs ont vérifié ces différents points : leurs essais ont porté sur l'électrolyse avec et sans diaphragme [1].

En opérant avec une solution concentrée de sulfure, on remarque, à un moment donné, que l'aiguille du voltmètre et celle de l'ampèremètre se mettent à osciller d'une façon régulière et en sens inverse. L'amplitude des oscillations est d'autant plus grande que la densité de courant est plus élevée. Ce phénomène est dû au dépôt et à la dissolution successive d'une mince couche de soufre sur l'anode. Les auteurs l'avaient remarqué au début de leurs essais, il a été étudié par Kœlichen [1] qui a pu l'enregistrer et obtient ainsi toute une série de courbes curieuses. Dans le cas présent, c'est un grave inconvénient ; nous y avons remédié soit par la circulation du liquide, soit par agitation, soit en combinant les deux systèmes.

Dans toutes ces opérations avec ou sans diaphragme, le sulfure de potassium se comporte exactement comme celui de sodium.

En résumé, l'électrolyse d'un sulfure alcalin donne à l'anode, suivant les conditions de concentration, soit du soufre, soit des composés d'oxydation allant jusqu'à l'acide sulfurique.

---

(1) « *Electrolyse du sulfure de sodium sans diaphragme*. — Parmi les essais que nous avons faits, nous signalerons le suivant d'après la méthode d'Œttel.

» L'appareil était constitué par un vase de Bohème forme *très haute* de 165 cm³, dans lequel se trouvaient deux électrodes en platine poli de 72 cm². L'électrolyte était formé de sulfure de sodium dissous à chaud dans son poids d'eau. Son volume était de 125 cm³.

» Le dosage (au moyen de la solution décinormale d'iode avant et après précipitation par un excès de sulfate de zinc) indiqua par litre 544 gr de sulfure de sodium cristallisé ($Na^2S, 9H^2O$) et 8 gr d'hyposulfite ($S^2O^3Na^2, 5H^2O$) (ou de sulfite). L'appareil fut mis en circuit avec un voltamètre à gaz tonnant et placé dans un bain à température constante. L'intensité fut maintenue à 5 ampères, pendant toute la durée de l'opération, ce qui correspondait à $Da = Dc = 7$ ampères par décimètre carré.

» Les résultats sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Électrolyse du sulfure de sodium sans diaphragme.

Durée.	Température.	Tension aux bornes.	Réduction.
minutes	°	volts	p. 100
0. . . .	68,5	2,00	19,7
15. . . .	71	1,90	62,7
40. . . .	72	1,85	80,6
70. . . .	72	1,94	86,5
115. . . .	72	1,90	88,5
175. . . .	74	1,86	93,3

» Au bout de 3 heures, l'opération fut arrêtée, la force contre-électromotrice était de 0,2 volt. Le dosage permit de constater que la quantité de sulfure était passée de 68 gr à 59,5 gr. La quantité d'hyposulfite était restée la même, il n'y avait pas trace de sulfate. Il y a lieu de remarquer que, dans cette expérience, la densité de courant cathodique était très élevée ; avec une plus faible le phénomène de réduction est encore plus net.

» *Electrolyse du sulfure de sodium avec diaphragme*. — Un grand nombre d'expériences ont été faites, la plupart dans des vases de fer ou de nickel servant de cathode, en employant comme anode, suivant le cas, des lames de charbon, de platine, de plomb, de fer ou de nickel.

» Avec des solutions étendues le platine seul peut convenir. On constate un dépôt de soufre, accompagné d'oxydation avec formation d'acide sulfurique et dégagement d'hydrogène sulfuré.

» Avec des solutions concentrées, on peut faire usage comme anode, dans la plupart des cas, des substances citées plus haut. L'électrolyse se passe à l'anode comme sans diaphragme, et la tension aux bornes reste relativement basse tant que le soufre se dissout. Si la concentration en polysulfures est poussée trop loin, ceux-ci se décomposent à leur tour, avec dépôt de soufre et formation de composés d'oxydation. La tension aux bornes s'élève alors.

» On peut également faire l'électrolyse du sulfure en présence de chlorure de sodium, soit en ajoutant ce sel dans les deux compartiments, ou dans un seul, soit en employant une solution de chlorure sans sulfure comme liquide cathodique. L'opération se passe exactement comme il a été dit plus haut, avec cette différence que l'on ne peut employer comme anode le fer ou le nickel, qui sont transformés en sulfure, lequel se dépose au fond de l'appareil. Le cuivre avec ou sans chlorure agit comme anode soluble.

(1) *Zeitschrift für Elektrochemie*, t. VII, p. 629.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 6 Juin 1903. 10e Année. — N° 23

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

LA NOUVELLE RÉGLEMENTATION ANGLAISE

DES INSTALLATIONS ÉLECTRIQUES

Le nouveau règlement sur le montage des installations électriques que vient de publier l'*Institution of Electrical Engineers* et dont on trouvera ci-dessous la traduction [1] est

[1] Règlement général de l'Institution of Electrical Engineers pour le montage des installations électriques.

§ 1. — Ces Règles, établies par l'Institution comprennent les conditions à remplir et les précautions à observer pour assurer des résultats satisfaisants dans les installations électriques dont la tension ne dépasse pas 500 volts en courant continu ou 250 volts en courant alternatif. Elles contiennent seulement les conditions et les précautions qui sont généralement nécessaires, mais elles ne sont destinées ni à remplacer un cahier des charges détaillé, ni à instruire les personnes inexpérimentées.

§ 2. — Avis de l'introduction projetée de ces Règles doit dans tous les cas être donné aux Compagnies d'assurances et aux fournisseurs de l'énergie électrique lorsque celle-ci provient d'une source étrangère.

Dispositions générales.

§ 3. — Les conducteurs doivent rayonner de centres de distribution et, dans de grandes installations, de ces centres à des sous-centres, de telle sorte qu'aucune dérivation n'ait à supporter plus de 5 ampères jusqu'à 125 volts ou plus de 3 ampères de 125 à 250 volts pour l'éclairage à incandescence.

§ 4. — Lorsqu'ils sont protégés contre les dégradations mécaniques par des tubes en métal dur, les conducteurs, même de polarité contraire, peuvent être placés dans un même tube; ils peuvent l'être également lorsqu'ils supportent de faibles courants provenant de sous-centres, qu'ils sont sans joints et quand même le tube ou l'enveloppe n'aurait pas d'armature métallique. Lorsque la distribution se fait en courant alternatif sous tubes armés, les conducteurs doivent être placés dans un même tube de sorte que la somme des courants soit nulle.

§ 5. — Lorsque l'un des conducteurs principaux d'un système de distribution est mis à la terre, il n'est pas permis d'interrompre le courant par un moyen mécanique sur un conducteur réuni à la conduite mise à la terre sans l'interrompre en même temps sur le conducteur qui n'est pas mis à la terre. Par suite, pour assurer que le courant soit interrompu simultanément sur les deux fils mis et non mis à la terre, on ne doit placer sur le premier aucun interrupteur qui ne soit jumelé, c'est-à-dire articulé à un autre interrupteur placé sur le conducteur non mis à la terre.

**

destiné à remplacer celui de 1897 qui ne répondait plus aux exigences actuelles ; il sera

§ 6. — Aucun coupe-circuit ne peut être placé sur le fil neutre d'un système à trois fils. Ceci n'empêche pas de placer une articulation détachable sur le neutre en vue des essais, mais les deux conducteurs des dérivations à deux fils branchées sur le neutre doivent être pourvus de coupe-circuit.

§ 7. — Chaque installation doit être commandée par des interrupteurs généraux jumelés qui soient placés aussi près que les circonstances le permettent de l'entrée de la canalisation dans le bâtiment et qui soient d'un accès facile. Conformément au § 6, l'installation doit aussi être protégée par des coupe-circuits généraux.

§ 8. — Chaque branchement doit être protégé sur les deux pôles par un coupe-circuit ; aucun interrupteur unipolaire ne peut être placé sur le conducteur mis à la terre.

§ 9. — Quand la canalisation est telle qu'un conducteur n'est pas isolé sur toute sa longueur — par exemple un fil de retour nu dans un système concentrique — aucun interrupteur ou coupe-circuit ne peut être placé sur ce conducteur qui doit en outre être mis à la terre d'une manière efficace.

§ 10. — Quand la distribution se fait par les trois conducteurs d'un système triphasé, chacun d'eux doit être protégé par un coupe-circuit et l'ensemble commandé par un interrupteur tripolaire.

§ 11. — Quand la tension entre les extrêmes d'une distribution à trois fils dépasse 250 volts, les circuits raccordés aux côtés opposés au neutre doivent être disposés de telle manière qu'une personne ne puisse toucher simultanément deux points respectivement en contact avec les conducteurs extrêmes.

§ 12. — Les conducteurs soumis à une tension supérieure à 250 volts doivent être complètement préservés par une forte enveloppe métallique ou par un tube armé efficacement relié à la terre et qui soit électriquement continu sur toute sa longueur.

§ 13. — Aucun interrupteur, coupe-circuit, prise de courant ou autre accessoire électrique ne peut être fixé directement sur une surface humide ou exposée à la condensation, telle que la maçonnerie, les briques, le ciment ou le plâtre ; il doit, en outre de sa propre monture, être fixé sur une rosace rendue imperméable.

§ 14. — Les coupe-circuit de branchement doivent être groupés ensemble à des endroits accessibles, bien en vue, être placés symétriquement et pourvus d'étiquettes pour chaque circuit.

§ 15. — Tout contact entre des conducteurs isolés et des tuyaux de gaz ou des pièces métalliques en contact avec ceux-ci doit être empêché au moyen de plaques de séparation incombustibles et non conductrices.

§ 16. — L'usage des conduites de gaz comme mise à la terre est interdit.

§ 17. — Les interrupteurs et coupe-circuit qui ne sont pas placés dans une salle de machines ou un compartiment spécialement aménagé à cet effet doivent être munis de couvercles.

Conducteurs. — Conductibilité et section.

§ 18. — La section des conducteurs (voir la Table de la page 368) doit être plus grande que celle déterminée par l'échauffement ou le courant nécessaire pour alimenter le nombre maximum de lampes qui peuvent être raccordées à la fois.

§ 19. — La section des conducteurs à l'intérieur d'un bâtiment doit être, suivant le § 18, déterminée par la perte de charge admissible et qui ne doit pas dépasser 2 p. 100 pour les circuits d'éclairage.

§ 20. — Les conducteurs doivent être en cuivre mou, d'une conductibilité qui ne soit pas inférieure à 100 p. 100 comparée à celle du cuivre de Matthiessen et, lorsqu'il entre des composés sulfurés dans une partie quelconque de l'isolant, le cuivre en contact avec celui-ci doit être étamé.

§ 21. — La section d'un conducteur en cuivre ne doit pas être inférieure à 1,17 mm², à l'exception des conducteurs souples multiples et des fils pour les accessoires dont la section ne doit pas être inférieure à 0,66 mm². Tous les conducteurs en cuivre isolés d'une section supérieure à 3,24 mm² doivent être toronnés.

§ 22. — La Table à la fin de ces Règles donne les dimensions des conducteurs en cuivre qui peuvent supporter avec sécurité des courants jusqu'à 740 ampères et la longueur du conducteur simple pour chaque volt de perte de charge lorsqu'il est traversé par le courant maximum.

Conducteurs. — Isolation.

§ 23. — Les conducteurs doivent être isolés avec une matière qui ne se détériore pas à la plus haute température à laquelle ils puissent être soumis ; par exemple pour le caoutchouc elle ne doit pas dépasser 38°C., pour le papier ou la fibre 77°C. Dans les locaux où la température est particulièrement élevée, l'isolation des conducteurs doit être telle que l'échauffement provoqué par le courant soit presque nul.

§ 24. — L'isolation de tout conducteur autre que les conducteurs souples multiples doit être, soit

(*a*) Un diélectrique qui soit imperméable et qui n'ait besoin que d'une protection mécanique (Le diélectrique ne comprend pas le tressage ni le guipage).

(*b*) Un diélectrique qui soit maintenu parfaitement sec et qui par suite a besoin d'être recouvert d'une enveloppe imperméable, généralement en métal mou, telle que le plomb, bien serrée sur le diélectrique.

§ 25. — L'épaisseur de la couche de caoutchouc vulcanisé ne doit pas être inférieure à 0,76 mm plus un dixième du diamètre du conducteur (Table, col. 3). L'épaisseur de la couche du diélectrique classe (*b*) ne doit pas être inférieure à celle indiquée par la Table, col. 4. Le diélectrique ne doit pas s'amollir au point de se désagréger à une température inférieure à 77°C.

§ 26. — Le diélectrique de la classe (*a*) doit être complètement imperméable et celui de la classe (*b*) doit être recouvert d'une enveloppe en matière ductile entièrement protégée contre l'humidité et qui, si elle est métallique, doit être électriquement continue sur toute sa longueur et reliée à la terre.

§ 27. — Le diélectrique doit être tel qu'après avoir

certainement consulté avec fruit par tous ceux qui s'intéressent aux progrès de l'éclairage électrique.

---

immergé une longueur du conducteur à essayer dans l'eau pendant vingt-quatre heures, il résiste, en restant immergé, à une tension de 2 000 volts appliquée pendant dix minutes entre le conducteur et l'eau. Avant l'immersion, le conducteur à essayer doit avoir été plié six fois (trois fois dans un sens, trois fois dans l'autre) autour d'une surface lisse et cylindrique d'un diamètre égal au plus à douze fois celui du câble fini.

§ 28. — La résistance d'isolement devra être celle indiquée à la colonne 12 de la Table pour le caoutchouc vulcanisé et celle indiquée à la colonne 13 pour la classe (*b*), l'essai étant fait à 15°C. après une minute d'électrification à 500 volts et après vingt-quatre heures d'immersion dans l'eau. Cette résistance ne devra pas baisser de plus de 10 p. 100 après une immersion de sept jours.

§ 29. — Les conducteurs isolés suivant la classe (*a*) doivent être protégés par une tresse ou un guipage imprégné afin de résister à l'humidité. A moins d'être posés bien en vue et à l'abri de tout dégât, tous les conducteurs doivent en outre être protégés par une forte enveloppe; celle-ci, dans les endroits humides, doit consister en tubes imperméables, incombustibles et qui, s'ils sont armés, doivent être électriquement continus sur toute leur longueur et reliés à la terre. Des précautions seront prises pour empêcher l'accumulation dans les tubes d'eau provenant de la condensation ou d'autres sources. Les courbes et les coudes vifs doivent être évités; on emploiera, pour tourner les coins, des courbes arrondies et lisses ou des boîtes spéciales.

§ 30. — L'extrémité dénudée des conducteurs recouverts du diélectrique classe (*b*) qui entre dans les bornes des interrupteurs, des coupe-circuit et autres appareils doit être protégée contre l'humidité qui pourrait pénétrer le long de l'isolant à l'intérieur du tube.

§ 31. — Les conducteurs concentriques devront répondre sous tous les rapports aux exigences formulées pour les conducteurs simples; la résistance d'isolement du diélectrique séparant deux conducteurs doit être celle indiquée dans la Table pour des conducteurs simples ayant le même diamètre que le conducteur intérieur. La résistance d'isolement du diélectrique qui recouvre le conducteur extérieur lorsqu'il est isolé doit être celle indiquée dans la Table pour des conducteurs simples de même diamètre extérieur.

§ 32. — Quand la canalisation est mise à la terre en un point quelconque, le conducteur extérieur d'un câble concentrique est celui qui doit être raccordé à la conduite mise à la terre.

§ 33. — Lorsqu'on applique l'essai de pliage aux conducteurs concentriques, le diamètre du cylindre employé ne doit pas être plus de douze fois le diamètre du câble fini.

§ 34. — Les conducteurs souples, c'est-à-dire ceux formés d'un nombre de fils de 0,02 mm au plus et qui sont alors isolés ne peuvent être employés que pour raccorder les appareils portatifs et les suspensions, ou pour les dérivations qui sont visibles sur toute leur longueur et écartées des murs à l'aide d'isolateurs en porcelaine.

Pour la canalisation des appareils, on peut faire usage d'un toron formé de trois fils de 0,5 mm. La matière isolante employée comme diélectrique doit être soit du caoutchouc pur ou du caoutchouc vulcanisé de première qualité; lorsqu'on emploie le caoutchouc pur, il doit être appliqué en deux couches en prenant soin qu'elles forment joint. L'épaisseur de la couche doit être d'au moins 0,4 mm pour des tensions jusque 125 volts ou 0,5 mm pour des tensions de 125 à 250 volts. L'enveloppe doit être telle qu'un bout de fil d'au moins 1 m de longueur puisse résister à une tension alternative de 1 000 volts et une fréquence de 40 à 100 périodes par seconde appliquée pendant dix minutes entre le bout à essayer et un autre bout semblable tordu avec lui, les deux fils étant soumis durant l'essai à la vapeur s'élevant d'une cuve d'eau bouillante placée dix minutes avant le commencement de l'essai à une distance d'un mètre au plus en dessous d'eux.

Conducteurs. — Jonctions

§ 35. — Les jonctions dans les conducteurs sont interdites excepté pour les petites dérivations protégées par des coupe-circuit, de 5 ampères au plus jusque 125 volts et de 3 ampères au maximum de 125 à 250 volts. Des boîtes de jonction doivent être employées pour le raccordement des circuits plus forts et être construites de telle sorte que

(*a*) Un court-circuit ne puisse se produire facilement entre les conducteurs;

(*b*) L'isolant entre les pôles opposés ne puisse se rompre ou s'écailler rapidement;

(*c*) Les connexions ne puissent s'échauffer.

Lorsque ces boîtes sont employées dans des locaux humides, des précautions spéciales doivent être prises pour empêcher la pénétration de l'humidité.

§ 36. — Les jonctions doivent être parfaites mécaniquement et électriquement afin d'empêcher tout échauffement. Tous les joints doivent être soudés. On ne doit pas employer pour faire les soudures de matières contenant de l'acide ou d'autres substances corrosives. On doit veiller avec grand soin à l'isolement de toutes les jonctions de conducteurs isolés.

§ 37. — En faisant les jonctions, on doit enlever soigneusement le tressage, le guipage ou le plomb, sans endommager le diélectrique, sur une longueur suffisante pour assurer l'union complète du diélectrique et de la matière servant à isoler le joint. Lorsque la matière isolante n'est pas imperméable, elle doit être recouverte d'un manchon ou d'une boîte qui le soit et qui forme un joint étanche de chaque côté de l'épissure. On doit prendre soin d'empêcher l'humidité de pénétrer durant l'opération.

§ 38. — Les jonctions entre les conducteurs souples et les fils fixés sous le plancher ou dans des moulures en bois sont interdites. Les joints constituant un point faible, ils doivent par suite être accessibles et il est recommandé que leur position soit indiquée par une marque bien visible.

Conçu dans un esprit très large, exempt de ces minuties qui sont le caractère des

Conducteurs logés dans les constructions.

§ 39. — Les conducteurs logés dans du ciment ou du plâtre doivent être pourvus d'une protection suffisamment forte pour résister à un clou.

§ 40. — Les conducteurs qui traversent les murs ou les planchers à l'épreuve du feu doivent être pourvus d'une protection supplémentaire telle qu'un tube en porcelaine ou en autre matière incombustible et qui soit rempli d'une matière chimiquement inattaquable et incombustible, de façon à empêcher que le feu ne se propage par les ouvertures. Quand le tube débouche à l'extérieur du bâtiment son extrémité doit être évasée et rabattue.

Conducteurs. — Moulures en bois.

§ 41. — Les moulures en bois ne doivent pas

(*a*) Être enfoncées dans le plâtre ou le ciment ni exposées à l'humidité ;

(*b*) Etre employées dans les locaux humides ;

(*c*) Longer les conduites d'eau immédiatement en dessous d'elles, sans être efficacement protégées contre la chute des gouttes d'eau.

Conducteurs. — Précautions à prendre aux points de raccordement.

§ 42. — Aux points de raccordement des conducteurs avec les interrupteurs, coupe-circuis, boites de jonction ou autres appareils, l'ensemble des fils séparés composant le conducteur toronné ou souple doit former un contact parfait avec la borne, de manière que des fils ou brins séparés ne soient pas laissés à découvert. L'isolant ne doit pas être dénudé plus avant qu'il est nécessaire pour permettre l'introduction du conducteur dans les bornes ; les extrémités de l'isolation classe (*b*) doivent être scellées.

§ 43. — Le tressage, le plomb ou toute autre enveloppe recouvrant le diélectrique doit être coupé net à l'extrémité de la matière isolante et rendu imperméable. Dans les locaux humides, les brins des conducteurs classe (*b*) doivent être soudés pour empêcher l'humidité de pénétrer le long du cuivre sous l'isolant.

§ 44. — Les conducteurs d'une section supérieure à 8 mm² doivent être soudés dans des raccords ou souliers à câble convenables. Quand un effort de traction peut être exercé sur ces raccords, ils doivent être soudés et en outre attachés mécaniquement.

Interrupteurs.

§ 45. — Chaque interrupteur, fixé séparément au mur ou combiné avec des supports de lampes ou d'autres appareils doit, excepté dans le cas prévu au § 17, être muni d'un couvercle et satisfaire aux exigences suivantes :

(*a*) Aucun échauffement exagéré ne doit se produire au point de contact ou ailleurs lorsque la totalité du courant circule d'une manière continue ;

(*b*) La rupture ne doit pas donner lieu à la production d'un arc permanent. Les interrupteurs doivent être essayés avec un courant de tension et d'intensité 50 p. 100 plus élevées que le courant pour lequel ils sont construits;

(*c*) Ils ne doivent pas pouvoir rester en contact partiel;

(*d*) Le socle doit être en matière incombustible, non conductrice et non hygroscopique;

(*e*) Le couvercle doit être en matière incombustible et être soit non conducteur, soit en métal rigide et indépendant de tout mécanisme intérieur ;

(*f*) Lorsque la tension dépasse 250 volts, les couvercles doivent être en métal et reliés à la terre;

(*g*) Les clefs doivent être isolées et montées de façon que la main ne puisse toucher le métal vif;

(*h*) Ils ne doivent pas contenir de plomb fusible.

Coupe-circuit.

§ 46. — Chaque coupe-circuit doit être muni d'un couvercle, excepté dans le cas prévu au § 17 et satisfaire aux exigences suivantes :

(*a*) Aucun échauffement ne doit se produire dans aucune partie de l'appareil lorsque la totalité du courant circule d'une manière continue ;

(*b*) Il doit interrompre le courant d'une manière efficace lorsqu'il se produit un court-circuit et aussi lorsque le courant dépasse sa valeur normale de 100 p. 100, le courant circulant dans les deux cas à la tension normale :

(*c*) Le socle du coupe-circuit doit être en matière incombustible, non conductrice et non hygroscopique ;

(*d*) Le couvercle doit être en matière incombustible et être soit non conducteur, soit en métal rigide, doublé de matière isolante et incombustible. Il doit être indépendant de tout mécanisme intérieur. Quand les coupe-circuit sont d'un modèle ouvert et groupés ensemble, la caisse du tableau de distribution constitue une protection suffisante si la distance de son couvercle au plomb fusible dépasse 5 cm ;

(*e*) On ne doit pas placer de plombs fusibles dans les prises de courant, les rosaces de plafond, les supports de lampes ou les couvercles d'interrupteurs;

(*f*) Le métal fusible doit être de section telle que la température du conducteur qu'il protège ne puisse dépasser celle spécifiée au § 23.

§ 47. — Des coupe-circuit unipolaires séparés et non des bipolaires doivent être placés sur les circuits où la tension dépasse 125 volts.

§ 48. — Les plombs fusibles seront considérés comme trop forts s'ils ne sont pas chauds au toucher lorsque passe le courant maximum et comme trop faibles s'ils sifflent lorsqu'on les mouille avec le doigt.

§ 49. — *Nota.* — Il est recommandé d'employer un métal dur pour les plombs fusibles : quand on emploie un métal tendre, on doit souder le plomb à des blocs de contact en métal dur.

Prises de courant.

§ 50. — Toutes les prises de courant doivent pouvoir résister à un essai fait sous une tension et une intensité supérieures de 50 p. 100 au courant pour lequel elles sont construites. Dans les locaux humides, on doit em-

Vorschriften allemandes, il est surtout destiné à concilier les règlements différents des

ployer des prises de courant spéciales et étanches. Dans le cas où le socle est fixé au plancher, il doit être disposé de telle façon que ni la poussière ni l'eau ne puissent s'accumuler dans le creux et que tous les contacts soient bien en dessous du niveau du plancher ou recouverts afin de rendre impossible tout danger de contact avec les tapis.

§ 51. — Aucune prise de courant ne doit contenir de plomb fusible.

§ 52. — Les prises de courant doivent être construites de telle sorte qu'un court-circuit ne puisse se produire facilement. L'écartement des pôles sera tel qu'un arc ne puisse se former si l'on enlève la fiche lorsque le courant circule. La matière isolante employée entre les pôles contraires doit être telle qu'elle ne puisse se rompre ou s'écailler rapidement.

§ 53. — Les conducteurs souples des appareils portatifs doivent aboutir dans une prise de courant.

§ 54. — Tout appareil électrique portatif doit être commandé séparément par un interrupteur sur le pôle actif de la prise de courant.

Rosaces de plafond.

§ 55. — Chaque rosace de plafond doit satisfaire aux exigences suivantes :

(*a*) Le socle doit être en matière incombustible, non conductrice et non hygroscopique;

(*b*) Le couvercle doit être en matière incombustible, être soit non conducteur, soit en métal rigide et indépendant de tout mécanisme intérieur ;

(*c*) A moins que la rosace de plafond ou sa base forme partie intégrante de l'enveloppe (§ 12), elle ne doit pas être fixée directement sur le plâtre mais montée sur une rosace en bois ;

(*d*) Ses bornes doivent être préservées de toute sollicitation à la traction du conducteur ou de l'appareillage et montées de telle sorte qu'il ne puisse se produire de court-circuit ;

(*e*) Elle ne doit pas contenir de plomb fusible.

Tableaux de distribution.

§ 56. — Les tableaux d'interrupteurs et de coupe-circuit généraux ainsi que les tableaux de distribution doivent être fabriqués en matière isolante incombustible; lorsqu'ils sont hygroscopiques, ils doivent être isolés de leur support, montés dans un endroit sec et de telle sorte que le feu ne puisse se propager aux matières combustibles.

§ 57. — Le métal vif doit être écarté de toute pièce métallique à un potentiel différent ou en être séparé par des cloisons isolantes, de telle façon qu'un arc ne puisse se former entre les surfaces métalliques.

§ 58. — Les connexions derrière les tableaux doivent être rendues accessibles et, à moins d'être protégées contre les émanations acides, elles ne doivent avoir aucune projection dans les salles d'accumulateurs. Les circuits doivent être pourvus d'étiquettes afin qu'on puisse les reconnaître.

§ 59. — Les boites des instruments, lorsqu'elles sont métalliques, doivent être isolées des circuits ; quand elles sont raccordées à un pôle elles doivent être protégées contre toute possibilité de contact avec l'autre pôle.

§ 60. — Tout voltmètre, avec ses fils de raccordement, doit être protégé par un coupe-circuit sur chaque pôle.

Appareils d'éclairage.

§ 61. — Lorsque des appliques, des lustres ou des lampes portatives exigent que les conducteurs soient passés à travers des tubes ou des canaux pratiqués dans le métal, ceux-ci doivent être de grand diamètre intérieur et ne pas avoir d'angles vifs ni d'arêtes saillantes susceptibles d'endommager l'isolant.

§ 62. — On évitera autant que possible les jonctions des conducteurs dans l'appareillage des lampes, mais lorsque les connexions dans l'appareillage seront inévitables, on apportera un soin spécial à ce que les jonctions aient la même conductibilité et le même isolement que le reste du travail.

§ 63. — Les appareils mixtes à gaz et à l'électricité ne doivent pas être employés.

§ 64. — Lorsque d'anciens appareils à gaz servent à l'éclairage électrique, ils doivent être entièrement détachés des conduites de gaz.

Supports de lampes.

§ 65. — Les supports de lampes doivent

(*a*) Être entièrement incombustibles ;

(*b*) Être isolés de toute conduite mise à la terre d'une façon continue et de toute enveloppe ne formant pas partie du circuit ;

(*c*) Être de modèle spécial pour des courants de plus de 1,5 ampère ;

(*d*) Ne pas être suspendus par des conducteurs souples lorsqu'ils sont exposés aux intempéries, mais être rigidement supportés.

§ 66. — Les clefs des supports de lampes doivent être commandées par groupes de 10 ou moins par un interrupteur séparé, fixé au mur.

Lampes à arc.

§ 67. — Les lampes à arc doivent :

(*a*) Etre protégées par des lanternes ou globes qui seront disposés pour empêcher la chute des parcelles de charbon ;

(*b*) Etre isolées de leur support ;

(*c*) Etre suspendues de telle façon que leur garniture ne puisse venir en contact avec une pièce métallique ;

(*d*) Avoir leurs fils d'amenée protégés contre la pluie ;

(*e*) Etre commandées par des interrupteurs jumelés et protégés par des coupe-circuit (voir *Dispositions générales*) ;

(*f*) Ne pas être employées dans les locaux où peuvent se produire des vapeurs inflammables ou des mélanges explosibles de poussière ou de gaz.

Compagnies d'assurances anglaises dont les exigences draconiennes et souvent contra-

Lampes à incandescence.

§ 68. — Les lampes à incandescence et leurs supports :

(*a*) Ne doivent pas être placées à proximité des matières inflammables ; les abat-jour qui sont faits de ces matières, doivent être tenus à l'abri de tout contact avec les lampes, par des protecteurs convenables ; le celluloïd et les autres matières très facilement inflammables ne doivent pas être employés pour les abat-jour :

(*b*) Lorsqu'elles sont installées dans des locaux où elles sont exposées à des vapeurs ou des gaz inflammables, elles doivent être garnies de globes hermétiques en verre épais et ne pas être raccordées par des conducteurs souples.

§ 69. — Les lampes à incandescence du genre Nernst doivent satisfaire aux règles des § 67 (*a*) (*b*) (*c*) (*d*) (*f*) et 68 (*a*).

Dynamos et moteurs.

§ 70. — Toute machine électrique, dynamo ou moteur, de plus d'un tiers de cheval, doit :

(*a*) Etre protégée contre l'humidité, la poussière et toute dégradation mécanique ;

(*b*) Etre écartée de toute boiserie non protégée et de toute matière combustible, à une distance de 30 cm, mesurée horizontalement, ou de 1,20 m, mesurée verticalement au-dessus d'elle, à moins qu'elle ne soit d'un type fermé ;

(*c*) Si elle est construite pour une tension de 250 volts, avoir son bâti relié à la terre d'une manière efficace ;

(*d*) Si elle est installée, soit dans un endroit exposé au dégagement de poussières ou de fibres inflammables, soit dans un local où des matières essentiellement inflammables sont manipulées ou emmagasinées, elle doit être d'un type fermé, sans courroies ni engrenages à l'intérieur du bâti et posséder des ouvertures pour la ventilation, celles-ci étant pratiquées seulement sur les côtés verticaux du bâti et protégées par deux treillis de toile métallique à fines mailles, écartés d'au moins 6 mm et solidement fixés au bâti ;

(*e*) Etre commandée par des interrupteurs jumelés et protégée par des coupe-circuit sur les deux pôles :

(*f*) S'il s'agit d'un moteur qui est en outre pourvu d'un appareil de démarrage formé d'un rhéostat de réglage et de résistances en série, le rhéostat sera monté avec déclenchement magnétique qui ramènera automatiquement les résistances en circuit dans le cas où le courant serait interrompu.

Nota. — Il est recommandé que, pour tous les moteurs en dérivation, l'inducteur soit excité avant l'induit et que l'enroulement en dérivation soit mis hors circuit par une résistance non inductive après que le courant a été coupé dans l'induit.

Rhéostats.

§ 71. — Les rhéostats, lorsqu'ils sont employés pour le réglage des lampes à arc, dynamos ou moteurs, ou pour tout autre usage, doivent être :

(*a*) Montés sur un cadre ou support et protégés par une caisse, les cadres, supports et caisses étant en matière incombustible et efficacement isolés des résistances ;

(*b*) Largement ventilés au moyen d'ouvertures protégées par une toile métallique à fines mailles, lorsque des matières inflammables risquent de les pénétrer ;

(*c*) Proportionnés de telle sorte que leur échauffement ne puisse atteindre plus de 116° C., ni celui de leur caisse plus de 55° C. au-dessus de la température ambiante ;

(*d*) Installés de telle sorte que leur caisse soit écartée de toute matière inflammable, d'au moins 15 cm horizontalement, ou de 60 cm mesurés verticalement au-dessus d'elle.

Bobines de self-induction.

§ 72. — Les bobines de self-induction doivent satisfaire aux règles concernant les rhéostats, §§ 71 (*a*) (*b*) et (*d*) et 76.

Accumulateurs et autres batteries.

§ 73. — La salle dans laquelle sont installés des accumulateurs ou des batteries primaires, doit être bien ventilée.

§ 74. — Les accumulateurs et batteries doivent être parfaitement isolés de la terre et protégés par des coupe-circuit à tous les points de raccordement entre le circuit et les éléments d'adjonction, à moins que des précautions spéciales ne soient prises pour maintenir les conducteurs séparés d'une façon permanente à l'aide de matériel incombustible et non conducteur.

Transformateurs.

§ 75. — Lorsque des transformateurs à haute tension sont installés dans un bâtiment, ils doivent :

(*a*) Etre enfermés avec leurs interrupteurs et coupe-circuit dans une caisse étanche et incombustible et n'être accessibles qu'aux personnes autorisées ;

(*b*) Etre protégés par des appareils convenables, de manière qu'une fuite entre les enroulements primaire et secondaire interrompe le courant dans le transformateur ;

(*c*) Ne pas dépasser à l'état normal de pleine charge une température de 77° C.

§ 76. — Les transformateurs alternatifs à basse tension ou bobines de self-induction doivent satisfaire aux prescriptions du § 71 (*a*) (*b*) et (*d*) et leur température ne doit pas dépasser 77° C.

Appareils électriques de cuisine, de chauffage radiateurs, etc.

§ 77. — Ces appareils doivent être :

(*a*) Construits et montés de telle sorte que la chaleur ne puisse pas s'étendre à leurs supports ni à leurs connexions, les mêmes précautions étant prises pour leurs garnitures extérieures que lorsqu'il s'agit d'appareils de chauffage non électriques ;

(*b*) Protégés par un coupe-circuit et un interrupteur sur les deux pôles, conformément au § 5, la prise de courant étant montée de telle sorte que l'extrémité vive du bouchon ne soit pas exposée à un court-circuit ou à un dégât accidentel.

dictoires de certaines d'entre elles mettent un obstacle au développement de l'industrie électrique [1].

Les prescriptions qu'il édicte sur la construction et le montage des appareils et des lampes ainsi que sur l'installation des machines électriques et des accumulateurs sont

Essais.

§ 78. — La résistance d'isolement par rapport à la terre, de l'ensemble ou d'une partie de la canalisation doit, si l'essai est fait avant le montage de l'appareillage et des lustres, être mesurée avec une tension au moins égale à deux fois la tension de service et ne doit pas être inférieure en mégohms au nombre 30 divisé par le nombre de « points » à essayer. A cet effet, le nombre de points à compter sera égal au nombre de paires de fils terminus à raccorder, directement ou par conducteurs souples, aux lampes ou autres appareils.

§ 79. — Le courant ne doit pas être mis définitivement avant que l'on ait fait subir l'essai suivant à l'installation terminée :

Toutes les lampes étant raccordées, tous les interrupteurs fermés et tous les coupe-circuit munis de plombs fusibles, on appliquera une tension égale à deux fois la tension de service et la résistance d'isolement de l'ensemble ou d'une partie quelconque de l'installation, ne devra pas être inférieure au nombre 25 divisé par le nombre de lampes de 30 watts. Lorsque toutes les lampes et appareils auront été enlevés, la résistance d'isolement entre les conducteurs ne devra pas être inférieure à 25 mégohms divisés par le nombre de lampes de 30 watts. Dans cet essai, chaque lampe à arc sera considérée comme équivalente à 15 lampes et chaque moteur ou appareil de chauffage sera compté pour une lampe par ampère, à la condition qu'aucun moteur, appareil de chauffage ou autre ne soit raccordé à la distribution d'énergie électrique à moins que l'isolement des conducteurs par rapport au bâti ou à la garniture soit supérieur à 500 000 ohms.

§ 80. — On ne peut trop insister sur l'importance des essais et des vérifications périodiques des appareils et des circuits, comme une précaution contre les dangers d'incendie. On devra tenir des rapports de tous les essais, de façon à pouvoir s'assurer de toute détérioration graduelle de l'installation. Il est indispensable que toutes les parties des appareils et de l'appareillage soient tenus dans un état de propreté constant. Dans les essais, le négatif doit être raccordé au conducteur à essayer.

§ 81. — Il est interdit de faire des réparations ou des changements lorsque le courant est sur l'installation.

Table.

(Le règlement se termine par une table donnant les renseignements suivants) :

Colonne 1. — Numéros de la jauge S. W. G. correspondant aux différents diamètres des fils et câbles.

Colonne 2. — Section des conducteurs correspondant aux numéros de la jauge d'après les tarifs des fabricants de câbles anglais.

Colonne 3. — Epaisseur minimum du caoutchouc vulcanisé pour chaque conducteur.

Colonne 4. — Epaisseur minimum du diélectrique classe B pour chaque conducteur.

Colonne 5. — Epaisseur minimum du plomb pour les conducteurs classe B.

Colonne 6. — Intensité maximum en ampères pour les conducteurs recouverts de caoutchouc vulcanisé et exposés aux températures supérieures à 38° C. Une note indique que dans ce cas le courant doit être calculé à l'aide de la formule

$$\text{Log } C = 0{,}775 \log A + 0{,}301$$
$$\text{ou } C = 2\,A^{0{,}775}$$

dans laquelle C est le courant en ampères, A la section en millièmes de pouce carré. La surélévation maxima de température atteindra environ — 13° C. pour les fortes sections.

Colonnes 7 et 10. — Intensité maxima en ampères pour les conducteurs quand la température extérieure est normale. Une note indique que dans ce cas le courant doit être calculé à l'aide de la formule

$$\text{Log } C = 0{,}82 \log A + 0{,}415$$
$$\text{ou } C = 2{,}6\,A^{0{,}82}.$$

Les valeurs de la colonne 10 du courant maximum admissible pour les câbles sous plomb avec une surélévation de température d'environ 7° C. pour les fortes sections, sont identiques à celles de la colonne 7 qui indiquent le courant maximum admissible pour les conducteurs isolés au caoutchouc vulcanisé et protégés mécaniquement.

Colonne 8. — Perte de charge. Longueur totale, aller et retour, pour 1 volt de perte de charge d'après la colonne 6.

Colonne 9. — Ampères par pouce carré d'après la colonne 7.

Colonne 11. — Perte de charge. Longueur totale, aller et retour, pour 1 volt de perte d'après les colonnes 7 et 10.

Colonne 12. — Résistance maximum d'isolement pour le caoutchouc.

Colonne 13. — Résistance minimum d'isolement avec l'épaisseur de diélectrique indiquée colonne 4 pour la classe B.

Colonne 14. — Résistance du conducteur en ohms par 1 000 yards.

Colonne 15. — Poids du cuivre en livres par 1 000 yards.

L. D.

[1] Dans le règlement de la Compagnie du Phœnix, sur 43 règles ou soi-disant telles il y a plus de 50 exceptions ou cas qui exigent une permission spéciale. Une autre compagnie spécifie d'employer pour les fils, à l'intérieur des habitations, différentes couleurs, rouge pour le positif, noire pour le négatif.

Tableau comparatif des intensités et densités de courant maximum admises pour les canalisations électriques.

Institution of Electrical Engineers

Section mm²	Hautes températures: Intens. max. Amp.	Hautes températures: Densité max. A : mm²	Températ. ordinaire: Intensit. max. Amp.	Températ. ordinaire: Densité max. A : mm²
—	—	—	—	—
1,17	3,2	2,74	4,2	3,6
1,59	4,0	2,51	5,4	3,4
2,63	5,9	2,25	8,2	3,13
3,24	7	2,16	9,8	3,03
4,55	9	1,98	13	2.85
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—
8,09	14	1,75	21	2.63
—	—	—	—	—
12,34	20	1,62	29	2,35
14,37	22	1,53	33	2,30
—	—	—	—	—
22,47	31	1,38	48	2,15
—	—	—	—	—
32,25	42	1,30	64	1,99
38,96	48	1,23	75	1,92
—	—	—	—	—
60,91	68	1,42	108	1,77
—	—	—	—	—
75,87	81	1,07	130	1,71
96,65	96	1,00	158	1,65
118,6	114	0,97	187	1,58
158,4	142	0,90	237	1,50
195,4	166	0,85	279	1,43
258	208	0,81	354	1,38
322,5	248	0,77	425	1,32
387	282	0.73	493	1,28
484	340	0,70	592	1,23
613	406	0,66	719	1,17
645	424	0,66	750	1,16
—	—	—	—	—
—	—	—	—	—

Association Alsacienne

Section mm²	Intens. max. Amp.	Densité max. A : mm²
0,78	4	5,1
1,13	5	4,43
1,77	7	3,95
—	—	—
3,14	12	3,82
—	—	—
4,91	17	3,47
7,07	22,5	3,20
—	—	—
10	30	3,00
—	—	—
15	40	2,67
—	—	—
—	—	—
25	60	2,4
30	70	2,33
40	85	2,13
50	100	2.00
60	115	1,92
—	—	—
75	135	1,80
100	175	1,75
125	200	1,60
150	235	1,57
200	290	1,45
250	340	1,36
300	400	1,33
400	500	1,25
500	600	1,20
—	—	—
—	—	—
750	800	1,07
1000	1000	1,00

Verband Deutscher Elektrot.

Section mm²	Intens. max. Amp.	Densité max. A : mm²
0,75	4	5,32
1	6	6
1,5	10	6.66
2,5	15	6
—	—	—
4	20	5
—	—	—
6	30	5
—	—	—
10	40	4
—	—	—
—	—	—
16	60	3.75
—	—	—
25	80	3,2
—	—	—
35	90	2,57
50	100	2
—	—	—
70	130	1,86
—	—	—
95	165	1,74
120	200	1,67
150	235	1,57
185	275	1,49
240	330	1,38
310	400	12,9
400	500	1,25
500	600	1,20
625	700	1,12
—	—	—
800	850	1,06
1000	1000	1,00

National Board — Isol. au caoutchouc vulcanisé.

Section mm²	Intens. max. Amp.	Densité max. A : mm²
0,825	3	3,64
1,3	6	4.62
—	—	—
2,1	12	5,7
3,3	17	5.15
—	—	—
5,3	24	4.5
—	—	—
8,35	33	3,95
—	—	—
13,2	46	3,5
—	—	—
16,8	54	3,2
21,1	65	3.1
26,5	76	2,87
33,5	90	2.7
42,5	107	2,52
53,2	127	2,38
—	—	—
67,2	150	2.23
—	—	—
100	200	2.00
—	—	—
150	270	1.8
200	330	1.65
250	390	1,56
300	450	1,5
400	550	1,38
500	650	1.3
600	730	1,22
650	770	1,18
800	890	1,11
1000	1050	1.05

Lloyd — Isol. au c. vulcanisé

Intens. max. Amp.	Densité max. A : mm²
1,3	1.58
2	1.54
—	—
3,2	1.52
5,1	1,54
—	—
8,1	1,53
—	—
13,0	1,56
—	—
20,6	1,56
—	—
26	1,55
32,8	1,55
41,3	1,55
52,1	1,55
65,7	1,55
82,9	1.55
—	—
104,5	1,55
—	—
157	1,57
—	—
235	1,57
314	1,57
393	1,57
471	1,57
628	1,57
785	1.57
—	—
—	—
—	—
—	—

sensiblement les mêmes que celles fixées par les règlements similaires dans les autres pays industriels; mais en ce qui concerne les canalisations, il présente de notables différences, qui méritent d'être signalées, avec les règlements les plus récents, tels que celui de l'Association Alsacienne des Propriétaires d'appareils à vapeur adopté par les associations françaises du même genre [1] et celui mis en vigueur depuis cette année par le *Verband Deutscher Elektrotechniker*.

Sections et densités de courant. — Le règlement anglais fixe des densités maximum différentes pour les conducteurs, non seulement suivant leur section, mais aussi suivant la température des locaux. Ces densités qui se rapportent à des conducteurs isolés au caoutchouc vulcanisé sont, notamment pour les faibles sections, extrêmement modérées, en comparaison des valeurs élevées admises par les prescriptions allemandes et les règlements américains.

On trouvera dans le tableau ci-joint les intensités et densités maximum données par l'Institut anglais, l'Union allemande et l'Association alsacienne; j'y ai ajouté celles admises par le Lloyd, une des plus importantes compagnies d'assurances des États-Unis et par le *National Board of Fire Underwriters* dont le règlement, qui date toutefois de 1895 et sera remanié sous peu, est adopté par tous les électriciens américains. On remarquera qu'à l'encontre des règlements anglais et allemands, les règlements américains admettent des densités différentes suivant la nature de l'isolant.

Isolement des conducteurs. — La réglementation anglaise est muette au sujet des conducteurs nus, qui sont interdits par la plupart des compagnies d'assurances; elle ne donne non plus aucune prescription sur les câbles asphaltés et armés; elle se borne simplement à distinguer, en dehors des fils souples, deux catégories de conducteurs. La première comprend les conducteurs recouverts d'une enveloppe imperméable, telle que le caoutchouc vulcanisé et qui n'ont besoin que d'une protection mécanique; leur isolement doit être de 1 200 à 300 mégohms par mile suivant les sections. La seconde classe comprend les conducteurs recouverts d'un isolant plus léger et qui, lorsqu'ils ne sont pas employés dans les locaux secs, doivent être revêtus d'une enveloppe imperméable, telle que le plomb; leur isolement doit atteindre suivant les sections de 300 à 70 mégohms par mile.

De même que les dernières prescriptions allemandes, le nouveau règlement anglais donne pour chaque section et pour chaque isolation l'épaisseur du diélectrique. Cette épaisseur pour les conducteurs isolés au caoutchouc vulcanisé est sensiblement la même dans les deux réglementations; pour les conducteurs recouverts de l'isolement léger, le règlement allemand indique le poids du caoutchouc qui varie de 120 à 1 550 grammes tandis que les règles anglaises donnent l'épaisseur. Quant aux conducteurs sous plomb la différence est plus grande entre les valeurs fixées par les deux règlements. On trouvera réunis ces divers renseignements dans le tableau de la page 370.

Indépendamment de la résistance d'isolement en mégohms par mile et de l'épaisseur du diélectrique, les règles anglaises prescrivent également l'essai à la rupture du diélectrique. Sur ce point les électriciens anglais se sont bornés à copier les prescriptions allemandes ou à peu près. Cette question avait cependant fait l'objet de travaux étendus et de discussions développées à la Société Internationale des Electriciens de Paris [2] et

(1) Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. CLXII, supplément du 28 septembre 1901.
(2) Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXX, pages LX, 255, 405, 410, 1er, 15 février et 15 mars 1902.

VERBAND DEUTSCHER ELEKTROTECHNIKER					INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS			
Section mm²	Caoutchouc para Poids grammes.	Caoutchouc vulcanisé ép. min. et max. mm.	Env. de plomb. Ep. simple ou double mm.		Section mm²	Diélect. classe B. Epais. min. mm	C. vulcanisé classe A. Epais. min. mm.	Enveloppe de plomb. Epais. min. mm.
0,75	120	0,8 — 1,1	—	—	—	—	—	—
1,0	130	0,8 — 1,1	—	—	1,17	0,89	0,89	0,76
1,5	155	0,8 — 1,1	—	—	1,6	0,91	1,02	0,76
2,5	190	1,0 — 1,4	—	—	2,6	0,94	1,27	0,76
4	230	1,0 — 1,4	—	—	4,55	1,04	1,78	1,27
6	280	1,0 — 1,4	—	—	—	—	—	—
10	340	1,2 — 1,7	—	—	12,34	1,22	1,78	1,52
16	420	1,2 — 1,7	1,5	2 × 0,9	14,37	1,24	2,03	1,52
25	550	1,4 — 2,0	1,5	2 × 0,9	22,47	1,37	2,03	1,52
35	650	1,4 — 2,0	1,6	2 × 0,9	38,96	1,57	2,03	1,52
50	800	1,6 — 2,3	1,6	2 × 1,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	60,91	1,78	2,03	1,78
70	1000	1,6 — 2,3	1,7	2 × 1,0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	75,87	1,9	2,28	1,78
95	1200	1,8 — 2,6	1,7	2 × 1,0	96,65	2,06	2,28	2,04
120	1400	1,8 — 2,6	1,8	2 × 1,1	118,6	2,18	2,28	2,04
150	1550	2,0 — 2,8	1,9	2 × 1,1	158,4	2,41	2,54	2,29
185	—	2,2 — 3,0	2,0	2 × 1,1	195,4	2,56	2,54	2,29
240	—	2,4 — 3,2	2,1	2 × 1,2	258	2,87	2,54	2,54
310	—	2,6 — 3,4	2,2	2 × 1,2	322,5	3,07	2,54	[illegible],54
400	—	2,8 — 3,6	2,3	2 × 1,2	387	3,27	2,79	2,80
500	—	3,2 — 4,0	2,4	2 × 1,3	484	3,58	2,79	2,80
—	—	—	—	—	613	4,01	3,04	3,05
625	—	3,2 — 4,0	2,6	2 × 1,3	—	—	—	—
—	—	—	—	—	645	4,06	3,30	3,05
800	—	3,5 — 4,5	2,8	2 × 1,4	—	—	—	—
1000	—	3,5 — 4,5	3,0	2 × 1,5	—	—	—	—

certes l'*Institution of Electrical Engineers* eut pu en faire son profit sans froisser notre amour-propre national, au contraire.

Le règlement allemand prescrit donc que les conducteurs isolés au caoutchouc vulcanisé devront pouvoir, après 24 heures d'immersion, résister à une tension de 2 000 volts entre le conducteur et l'eau pendant une demi-heure ; le règlement anglais prescrit le même essai sous 2 000 volts, mais pendant dix minutes seulement.

Moulures en bois. — Les prescriptions allemandes interdisent d'une façon absolue l'emploi des moulures en bois ; les instructions de l'Association Alsacienne l'autorisent sous certaines réserves : elles ne peuvent être placées que dans les locaux biens secs, elles doivent être écartées du mur par des cales, l'écartement des rainures doit être d'au moins 10 mm, les couvercles doivent être vissés et non cloués. Le règlement anglais les autorise sans édicter de prescriptions spéciales et interdit simplement les jonctions de conducteurs dans leurs rainures, comme d'ailleurs il les interdit dans les tubes. Mais il est évident que pour les hautes tensions et dans les locaux humides, les compagnies d'électricité ou d'assurances limiteront leur emploi à certaines conditions.

Interrupteurs et coupe-circuit. — Le règlement anglais ne présente rien de particulier en ce qui concerne les interrupteurs sinon qu'il prescrit que ces appareils devront supporter sans échauffement une fois et demi leur tension et leur intensité normales ; cette règle a été fixée pour concilier les exigences différentes de certaines compagnies qui imposent des surfaces de contact, la longueur de la rupture et la distance entre les pôles.

De même que la plupart des règlements français, les instructions de l'Association Alsacienne, les anciennes prescriptions allemandes, le National Board et le Lloyd américain indiquent le courant de fusion des coupe-circuit. Il y a des écarts souvent considérables entre les divers règlements ; pour ne citer que les deux américains, tandis qu'un plomb calibré pour un courant normal de 550 ampères doit fondre à 668 ampères suivant le National Code, il ne doit fondre qu'à 1 100 ampères suivant la règle n° 19 du Lloyd.

Comme à l'heure actuelle on a généralement substitué aux fils et aux lamelles de plomb divers alliages sous forme de lames, de tubes ou de bouchons, les récentes prescriptions allemandes de même que les nouvelles règles anglaises ne fixent plus de sections pour les plombs fusibles. Les prescriptions allemandes indiquent seulement qu'ils doivent fondre sous un courant égal à une fois un quart la valeur normale jusque 50 ampères et à deux fois cette valeur au-dessus de 50 ampères; les règles anglaises fixent comme valeur du courant de fusion le double du courant normal.

Elles interdisent également de placer des plombs fusibles dans les interrupteurs, rosaces de plafond et prises de courant, ce que ne défend pas le règlement allemand.

Mise à la terre du neutre. — Cette question a fait au cours de ces dernières années l'objet de nombreuses discussions devant la plupart des Sociétés d'électriciens.

En Amérique, M. Hutchinson exposait en 1899 devant l'A. I. E. E. (1) les avantages que présente la mise à la terre du neutre pour les distributions à trois fils et indiquait ce système comme la meilleure solution pour découvrir immédiatement les contacts accidentels avec le sol, pour donner une valeur fixe aux différences de potentiel entre la ligne et la terre, tout en n'accroissant pas le danger des contacts ni les risques d'incendie.

Le Congrès tenu aux Niagara Falls par la National Electric Light Association en 1901 adoptait les conclusions du comité nommé pour examiner cette question et recommandait, sans réserve aucune, la mise à la terre du neutre dans les distributions à trois fils alimentées par des transformateurs ou des génératrices à courant continu. Enfin l'année dernière le National Board des compagnies d'assurances, cédant à son tour, autorisait la mise à la terre d'un fil d'une distribution à basse tension jusque 550 volts, en laissant toutefois cette solution à la latitude de l'installateur ou de la compagnie d'électricité.

En Allemagne où la mise à la terre du neutre est appliquée dans nombre de distributions, le paragraphe 22 du règlement de l'Union des Electriciens prescrit formellement que dans toute distribution à trois fils alimentée par du courant continu le neutre doit être mis à la terre.

En Angleterre, divers mémoires notamment de M. J. Ward (2) et de M. Faraday Proctor ont fait l'objet de discussions approfondies devant l'I. E. E. Si les ingénieurs anglais furent d'avis que la mise à la terre du neutre présente certains avantages, surtout lorsque les feeders sont formés de câbles concentriques avec le câble extérieur mis à la terre dans le but de diminuer les dangers d'électrolyse, ils ne tombèrent pas d'accord sur le point de savoir s'il était préférable que la mise du neutre à la terre se fît à la station centrale seulement ou en différents points du réseau.

Les nouvelles règles anglaises admettent donc cette solution mais sans prescrire son application générale ; elles interdisent seulement, comme les prescriptions allemandes, de placer des interrupteurs ou des coupe-circuit sur le neutre, à moins que l'on emploie

---

(1) Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXII, p. 100, 20 janvier 1900.

(2) Cf. *Éclairage Électrique*, t. XXVIII, p. 106, 18 octobre 1902

des interrupteurs jumellés, c'est-à-dire qui coupent simultanément le courant sur les fils mis et non mis à la terre.

Résistance d'isolement des installations. — Les instructions de l'Association Alsacienne de même que les anciens règlements allemands prescrivent que la résistance d'isolement des conducteurs par rapport à la terre et entre eux doit être au moins égale à

$$10\,000 + \frac{1\,000\,000}{n} \text{ ohms}$$

n représentant le nombre de lampes ; elles indiquent que la mesure doit se faire de préférence sous la tension de service. Les nouvelles prescriptions allemandes stipulent que la mesure soit faite autant que possible à la tension de service et au moins à 100 volts; comme valeur de l'isolement elles indiquent que, pour toute dérivation entre deux coupe-circuit ou après le dernier coupe-circuit, elle doit atteindre au moins 1 000 ohms multipliés par la tension de service, par exemple 220 000 ohms pour 220 volts. Exception est faite pour les locaux humides où l'on se dispensera de mesurer l'isolement et pour les canalisations à l'air libre qui devront avoir au moins 20 000 ohms par kilomètre de longueur simple.

La réglementation anglaise stipule que la mesure devra se faire *au double* de la tension normale et elle prescrit deux valeurs différentes suivant que l'essai est fait avant ou après le montage des appareils et des lustres. Dans le dernier cas la résistance d'isolement doit être égale à 25 mégohms divisés par le nombre de lampes de 30 watts.

Il y a donc lieu d'espérer que les compagnies d'assurances anglaises trouveront là une garantie suffisante de sécurité pour que l'adoption du nouveau règlement devienne bientôt générale en Angleterre.

Louis DRUCBERT.

LE CHAUFFAGE DES CHEMINS DE FER PAR L'ÉLECTRICITÉ

Nous avons signalé [1] la première application des chaufferettes électriques faite par la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest aux voitures des trains de la ligne électrique qui va de la gare des Invalides à Versailles. La Compagnie vient d'étendre cette application à un grand nombre de voitures du même type, c'est-à-dire à couloir central et à plates-formes (fig. 1).

Ces voitures sont comme les précédentes munies de 10 chaufferettes chacune, montées en série par cinq sur la tension du réseau qui est de 550 à 600 volts. Chaque chaufferette a 80 cm de longueur sur 14 cm de largeur et fonctionne avec 110 volts aux bornes. La consommation par voiture est de 1 100 watts.

Les appareils destinés aux voitures de première classe ont été construits en cuivre jaune estampé, ceux des voitures de seconde classe sont en tôle estampée et plombée.

Les frais d'établissement pour l'équipement complet d'une voiture sont très notablement inférieurs à ceux que nécessitent les autres systèmes de chauffage à poste fixe.

Les chaufferettes rivées et soudées (fig. 2) sont d'une étanchéité parfaite, de telle sorte qu'il ne peut pénétrer aucune trace d'humidité à l'intérieur. Il n'y a donc pas à craindre

[1] *L'Eclairage électrique.*

l'introduction d'eau pendant le lavage des voitures, pas plus que les infiltrations qui pourraient résulter de la neige ou de la boue apportées par les voyageurs pendant les mauvais emps. On est ainsi complètement à l'abri des effets désastreux que l'humidité, si elle pouvait pénétrer, serait susceptible de produire, soit en occasionnant des courts-circuits à l'in-

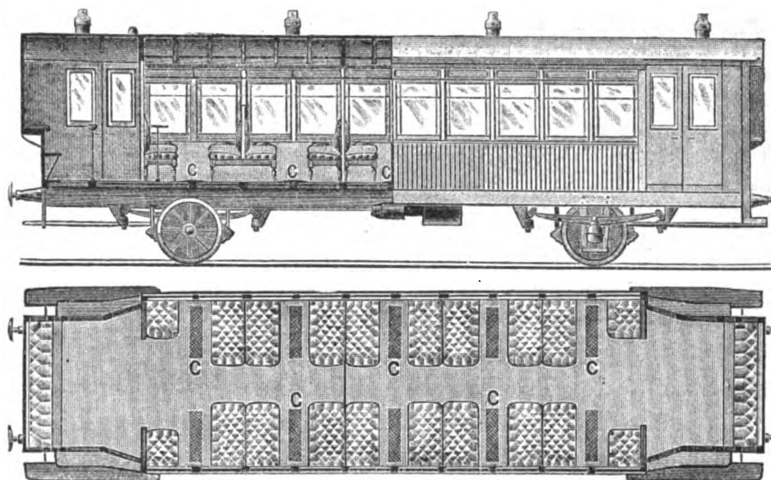


Fig. 1.

térieur qui mettraient rapidement les appareils hors d'usage, soit en compromettant et même détruisant l'isolement électrique.

Aussi croyons-nous intéressant de signaler les conditions de réception qui ont été de-

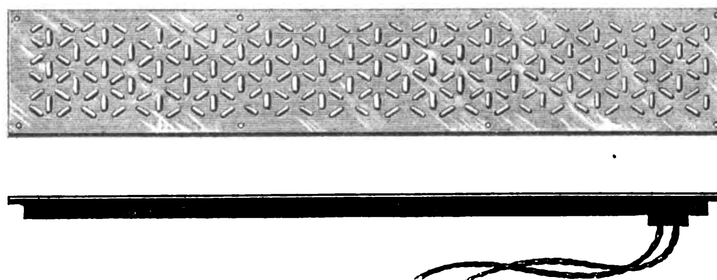


Fig. 2.

mandées par la Compagnie des Chemins de fer de l'Ouest et acceptées par la Société Anonyme des Anciens Etablissements Parvillée frères et Compagnie.

Après avoir été plongées dans l'eau pendant 24 heures, les chaufferettes ont été soumises à une tension alternative de 2 000 volts efficaces entre le boîtier et le système chauffant.

Les chaufferettes ont supporté ensuite, pendant une heure, une tension double de celle pour laquelle elles étaient établies, c'est-à-dire 220 volts au lieu de 110, et, pendant une minute, une tension triple, soit 330 volts. Ce régime pourrait d'ailleurs être prolongé sans danger pour le système chauffant, si l'on ne craignait pas de fondre la soudure. Après refroidissement, la résistance du circuit de chaque appareil a été mesurée à nouveau et cette mesure n'a accusé aucune modification dans les valeurs primitives.

Le régime auquel ont été soumises les chaufferettes pendant ces essais prouve tout le soin apporté à la fabrication et justifie les nombreuses applications qui ont été déjà faites

de ce système et qui ont toujours produit une réelle économie, tant sur les frais de premier établissement que sur la dépense journalière de courant. Le chauffage par chaufferettes réalise en effet une économie d'énergie électrique de 60 à 75 p. 100 sur le système de chauffage par radiateurs.

Nous citerons pour terminer, entre autres applications des chaufferettes Parvillée, celle

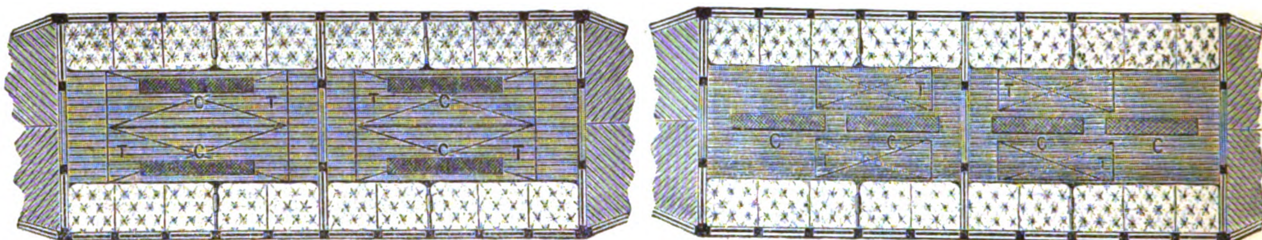


Fig. 3 et 4.

qui a été faite par la Société des Tramways de Lille. Dans les voitures de cette Société, les chaufferettes sont disposées (fig. 3) suivant une rangée centrale fixe laissant de chaque côté la place libre pour la manœuvre des trappes de visite.

L'équipement de chaque voiture se compose de 4 chaufferettes de 1 m de long occupant toute la longueur de la voiture. La largeur de ces chaufferettes est de 17 cm. La dépense de courant par voiture est de 700 watts.

Dans la disposition adoptée par la Compagnie des Tramways de Bon-Secours-lès-Rouen, à Rouen, les chaufferettes sont au contraire placées sur les trappes de visite, de chaque

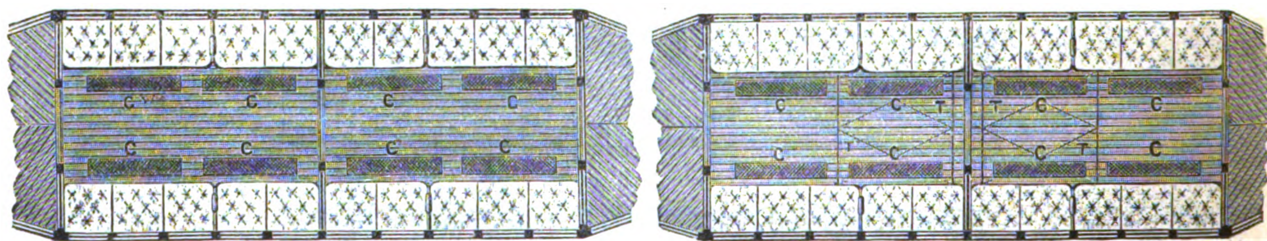


Fig. 5 et 6.

côté de la voiture (fig. 4). La largeur des voitures de cette Compagnie ne permettait pas la disposition en une seule rangée centrale comme à Lille. Les connexions sont faites par fil souple très isolé et recouvert d'un tube de caoutchouc.

Ce mode de liaison très simple, n'exige aucune modification dans la disposition ou dans la manœuvre des trappes et a donné toute satisfaction à la Compagnie.

Les figures 5 et 6 représentent d'autres dispositions des chaufferettes électriques dans les voitures de tramways. La première est relative aux voitures de remorque sans trappe. Les chaufferettes ont 60 cm de longueur, elles sont placées sur les côtés, suivant 2 rangées de chacune quatre chaufferettes. La consommation totale est de 680 watts.

La figure 6 représente une voiture motrice à deux trappes T, l'équipement se compose de 8 chaufferettes de 80 cm dont 4 sont placées sur les trappes de visite et 4 sur les parties fixes du plancher laissées aux extrémités de la voiture. La consommation totale est de 880 watts.

Les sérieux avantages pratiques que procure le système des chaufferettes Parvillée pour les voitures à traction électrique justifie sa rapide extension. J. Reyval.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION

Sur un cas remarquable de surélévation dangereuse de tension dans une génératrice triphasée. *Elektrotechnische Zeitschrift*, t. XXIV, pages 198-199, 12 mars 1903.

M. Finckh, ingénieur à Charlottenbourg, décrit le cas suivant de surélévation de tension, qui s'est produit dans une génératrice triphasée de 1 000 kilowatts à 2 000 volts d'une des stations centrales de Saint-Pétersbourg.

La machine avait fonctionné régulièrement pendant plusieurs années, aussi bien seule sur le réseau, qu'en parallèle avec d'autres, lorsqu'à partir d'une certaine époque, à plusieurs reprises, les tubes en mica de 4 mm d'épaisseur, isolant une des bobines de l'induit du fer furent percés et la bobine fut brûlée. Chaque fois il y eut production d'étincelles abondantes, ce qui forçait à conclure à une surélévation extraordinaire de tension.

Les recherches démontrèrent qu'à cette époque il y avait sur le réseau une mise à la terre variable. En outre le personnel constata que l'on recevait de fortes secousses en touchant le fer de cette machine, circonstance qui ne se présentait pas pour les autres.

M. Finckh supposa qu'il y avait corrélation entre les deux phénomènes, que d'une part la mise à la terre d'un point du réseau détruisait la symétrie des différences de tension des diverses bornes de la machine avec la terre, de sorte qu'il y avait dans le fer une charge statique par rapport à la terre. D'un autre côté les secousses ressenties indiquaient sûrement la présence d'un isolement entre le fer de l'induit et le bâti mis à la terre. Cette couche isolante avait dû se former avec le temps par suite probablement de dépôts de poussière, car l'induit n'avait pas été isolé lors de la construction.

Dans cette machine le courant de charge ne pouvait donc pas s'écouler directement à la terre, il y avait des étincelles de décharge à travers la couche isolante.

M. Finckh avait acquis depuis longtemps la conviction que la plupart des phénomènes de résonance ne sont pas dus à la fréquence ni aux harmoniques supérieures du courant, comme on l'a souvent admis ce qui est théoriquement possible dans certaines circonstances, mais bien presque toujours à la production d'étincelles de décharge donnant lieu à des courants à très hautes fréquences, avec des ondes relativement petites. Il conclut donc dans ce cas, que la surélévation de tension disparaîtrait définitivement en mettant en court-circuit la partie où éclataient les étincelles, c'est-à-dire, en reliant directement le fer de l'induit et le bâti. Comme au moment où M. Finckh arriva, l'isolation du réseau avait été rétablie, et qu'il n'osa pas à nouveau y produire de dérangement, il procéda de la manière suivante pour obtenir une charge statique du fer de l'induit : il relia l'un des pôles de la machine non excitée et immobile à une des barres du tableau.

La charge était due à la tension étoilée $\frac{2000}{\sqrt{3}}$ volts et dès que la lame était reliée, il se manifestait des étincelles de 40 mm de longueur à la bobine considérée. Ces étincelles disparaissaient aussitôt que l'on reliait métalliquement le fer de l'induit au bâti, pour réapparaître aussitôt la liaison rompue. Depuis que la liaison a été définitivement établie, la machine a continué à fonctionner régulièrement.

On n'a cependant pas pu s'expliquer pourquoi le phénomène se manifestait toujours à la même bobine.

Expériences de M. Artènieff avec le vêtement protecteur de son invention.

M. le professeur Nicolas Artémieff, de Kiew, a fait le 25 novembre 1902, à la Société électrotechnique de Berlin une conférence sur le vêtement de protection contre les effets des hautes tensions, dont il est l'inventeur et qui a été décrit dans le numéro du 20 septembre 1902, p. CLXVI. A l'issue de cette conférence il a procédé à des expériences du plus haut intérêt.

La maison Siemens et Halske avait mis à la disposition du conférencier un transformateur de 20 kilowatts pouvant donner au secondaire une tension de 200 000 volts ; le rapport de transformation étant de 1 : 1 000, on a pu obtenir dans les essais une tension de 150 000 volts.

Après avoir revêtu son vêtement protecteur, M. Artémieff s'approcha des conducteurs du transformateur. A la longueur du faisceau d'étincelles et à leur bruit, on pouvait déjà conclure à la tension extraordinaire du courant, la distance explosive était d'environ 35 cm.

En s'isolant il s'approcha d'abord d'un des conducteurs pour montrer l'étincelle de charge. Il s'approcha ensuite des deux conducteurs, il se produisit deux arcs. En touchant un des conducteurs et en faisant éclater l'arc entre l'autre conducteur et le casque protecteur, il put éclairer assez fortement la salle plongée dans l'obscurité. Il montra encore qu'il n'était pas nécessaire de s'isoler.

Pour prouver que l'on peut sans gêne procéder à des travaux étant revêtu du vêtement protecteur, M. Artémieff procéda aux expériences suivantes :

Des fils de cuivre étaient disposés dans deux tubes de verre ; un des tubes était en relation avec un des pôles. L'expérimentateur prit l'autre tube dans la main et se mit en communication avec l'autre pôle. En rapprochant les deux tubes il se forma entre les deux une large bande violette et même à un moment l'un des tubes fut percé par une étincelle. Le milieu d'une plaque de verre de 80 × 80 cm fut relié d'un côté à un des pôles, l'opérateur se mit en contact avec l'autre pôle et approcha sa main de l'autre côté de la plaque. Des étincelles parallèles à la surface de la glace éclatèrent de tous côtés, de manière à former une figure étoilée.

Pour terminer, afin de bien montrer la tension élevée, deux fils munis de cuivre furent tendus parallèlement, isolés l'un de l'autre et reliés chacun à un des pôles du transformateur. Les deux fils apparurent alors sous forme de deux cordes épaisses bleues, à peu près comme des fils télégraphiques avec du givre. En outre les deux fils commencèrent à vibrer, et l'amplitude des vibrations alla en augmentant.

M. Artémieff fit également remarquer que les phénomènes que l'on peut observer avec une fréquence de 50, ne sont pas très différents de ceux constatés avec les courants de Tesla. Il est d'avis que la haute fréquence ne joue aucun rôle prépondérant, mais bien seulement la tension élevée obtenue.

F. L.

Prix de revient de la force motrice chez les particuliers. — Comparaison entre la vapeur, le gaz, l'air comprimé et l'électricité, par **L. Saint-Martin**. — *Bulletin technologique de la Société des anciens Elèves des Ecoles nationales d'Arts et Métiers* (mars et avril 1903).

Dans son étude sur les distributions d'énergie pour force motrice [1] M. L. Saint-Martin a envisagé les divers modes de production de force motrice actuellement utilisés dans les usines et fabriques ; l'intérêt que présente la question au point de vue du développement des grandes installations de transmission et de distribution d'énergie électrique nous engage à reproduire cette partie de l'étude de M. Saint-Martin :

I. — Énergie électrique par stations centrales privées.

1° Stations centrales particulières pour transports de force. — Dans certaines grandes exploitations, dont les ateliers ou les sièges de production sont assez éloignés les uns des autres, par exemple dans les mines de houille, on trouve souvent des stations centrales particulières qui produisent toute l'énergie électrique nécessaire pour l'ensemble de l'entreprise et qui la distribuent ensuite sur les divers points d'utilisation.

Le coût de premier établissement de ces transports de force privés — dont la puissance atteint rarement 1 000 *kilowatts*, surtout en France — est un peu moins élevé que celui des stations centrales ordinaires, dont le réseau de distribution est généralement plus développé, et qui comprennent des branchements et des compteurs inutiles pour les premières. On peut donc admettre pour ces installations une dépense totale de premier établissement de 1 200 à 1 500 fr par kilowatt de puissance à l'usine (y compris canalisations, accumulateurs, transformateurs, s'il y a lieu, et toutes installations accessoires). Pour éviter d'exagérer les frais d'intérêt et d'amortissement de la dépense de construction, nous prendrons pour le total de ces frais un taux annuel de 5 p. 100 seulement, calculé sur la dépense *minima* de 1 200 fr par kilowatt à l'usine.

[1] Nous avons déjà donné quelques extraits de cette étude dans les derniers *Suppléments* : p. LXXIV, 16 mai ; p. LXXXVI, 23 mai.

En admettant pour ces usines un coefficient d'utilisation de 20 p. 100 (ce qui est très large, croyons-nous, car elles desservent la plupart du temps autant d'éclairage que de force motrice) le nombre de kilowatts-heure produits à l'usine serait de : 8 760 × 0,20 soit 1 752 kilowatts-heure par an et par kilowatt de puissance à l'usine, ce qui représente à peu près 1 400 kilowatts-heure utiles (en prenant 80 p. 100 comme rendement total des appareils de transformation et de distribution du courant).

Les *frais d'intérêt et d'amortissement* de ces installations seraient donc *au minimum* de :

$$\frac{1\,200 \times 5 \text{ p. } 100}{1\,400} = 4 \text{ c. } 3 \text{ par kilowatt-heure utile.}$$

Quant aux dépenses de *production* et de *distribution* de l'énergie (combustibles, graissage, salaires, entretien et réparations du matériel) elles seront, tous comptes faits, sensiblement égales à celles des stations centrales ordinaires. Nous rappelons, ci-après, le chiffre de ces dépenses par kilowatt-heure *utile* (1) :

Pour les usines de moins de 500 kilowatts .	0,22 fr
— de 500 à 1 000 kilowatts . .	0,208 fr
— de 1 000 à 2 000 kilowatts .	0,18 fr
— de 2 000 à 6 000 kilowatts .	0,13 fr

Si on ajoute à ces dépenses d'exploitation proprement dites, la part de frais généraux concernant ces installations et les charges d'amortissement calculées ci-dessus, on voit que *les dépenses totales d'exploitation de ces transports d'énergie particuliers ne peuvent, dans les meilleures conditions, être inférieures à 0,18 fr ou 0,20 fr par kilowatt-heure utile, pour les grandes installations, et à 0,25 fr ou 0,30 fr dans les moyennes et les petites.*

Ces chiffres ne tiennent aucun compte des conditions particulières dans lesquelles peuvent être établies ces installations privées. Ils ne peuvent donc être considérés que comme moyennes données pour fixer les idées. Mais nous insistons sur ce fait que ces moyennes sont plutôt inférieures à la réalité, même si on tient compte des charbons à bas prix brûlés dans certaines de ces usines, qui sont exploitées par Compagnies houillères.

En effet, si on utilise pour ces usines des charbons d'escaillage, ou autres déchets d'extraction, ces charbons ont néanmoins une certaine valeur marchande et les Compagnies houillères trouvent facilement à les vendre à des prix raisonnables (10 à 11 fr la tonne, pour certaines mines du Nord, qui n'ont quelquefois pas assez de ces charbons pour leurs propres besoins et ceux de leurs ouvriers).

Il ne faut pas croire, du reste, qu'il soit toujours avantageux de brûler des résidus, déchets, poussiers et, en général, des charbons de qualité très médiocre. Si on tient compte en effet des très grandes quantités de combustible consommées, des frais plus considérables de manutention et d'entretien, du plus grand nombre de générateurs, des précautions spéciales à prendre et du rendement médiocre des chaudières, qui sont généralement la conséquence de l'emploi de ces charbons à bas prix, on verra qu'il est souvent préférable de se procurer des combustibles de meilleure qualité, surtout pour les grandes usines génératrices, dont l'approvisionnement ne saurait d'ailleurs se faire exclusivement avec des charbons de rebut.

Au surplus, il ne faut pas exagérer l'influence du prix d'achat des charbons sur le prix de revient total de l'énergie.

On a vu plus haut (1) que les dépenses de combustible représentent à peine la moitié des frais de production et le quart ou le cinquième seulement des dépenses totales d'exploitation. Pour les stations centrales de moins de 2 000 *kilowatts*, par exemple, les dépenses de combustible varient entre 5 et 9 centimes par kilowatt-heure utile. En admettant donc que les Compagnies houillères puissent, à qualité égale, avoir le charbon à 30 ou 40 p. 100 meilleur marché qu'une station centrale ordinaire, placée dans la même région, l'économie réalisée ne serait jamais que de 2 ou 3 centimes par kilowatt-heure utile, ce qui n'infirmerait pas nos conclusions concernant le prix de revient total.

En résumé, nous sommes convaincus que le prix de revient total de l'énergie *utile*, distribuée par ces transports de force de petite et moyenne importance, est presque toujours supérieur aux chiffres cités plus haut. Malheureusement, les entreprises qui utilisent ces transports de force ne se rendent pas bien compte des dépenses

(1) Voir 2e partie du mémoire original, ch. IV, § *e*, p. 62.

(1) Voir 2e partie du mémoire original, ch. IV, p. 65 et 72.

****

réelles auxquelles elles sont entraînées de ce fait. Elles ne tiennent généralement pas de comptabilité spéciale leur permettant de dresser un prix de revient exact de leur énergie, et d'ailleurs elles n'ont jamais de compteurs sur les divers points d'utilisation et souvent même, il n'y en a pas à l'usine génératrice. Ces entreprises ignorent donc les quantités d'énergie *produite* et d'énergie *utilisée* et, par suite, le rendement de leur distribution ; de même, elles négligent souvent de tenir compte de la part de frais généraux qui devrait logiquement être affectée à ces installations électriques, ainsi que des frais d'intérêt et d'amortissement des dépenses de construction. Celles-ci représentent cependant un capital important, qui deviendrait disponible si ces entreprises prenaient leur énergie à une grande station centrale, construite et exploitée en dehors d'elles.

Sans doute, cette question des capitaux est peu gênante pour la plupart des Compagnies houillères, puisque certaines d'entre elles peuvent prendre sur les bénéfices d'exploitation la totalité des dépenses nécessitées pour le fonçage et l'installation complète des nouveaux sièges d'extraction (dont les mieux outillés coûtent facilement 4 ou 5 millions chacun). Mais il n'en est pas moins vrai que les sommes importantes affectées aux usines électriques et aux transports de force dans les mines, seraient mieux employées — et surtout rapporteraient davantage — si on les consacrait à l'ouverture de nouveaux puits ou au perfectionnement des installations existantes, en se contentant d'acheter l'énergie électrique à une station centrale indépendante de la mine.

2° Stations centrales privées pour éclairage. — Les stations centrales privées qui fonctionnent exclusivement en vue de l'éclairage d'usines, bureaux, ateliers, magasins, etc., sont généralement assez peu importantes ; elles sont presque toujours installées dans les locaux qu'elles doivent éclairer, ou à proximité immédiate de ceux-ci.

Les dépenses de premier établissement de ces installations ne comprennent donc, le plus souvent, que les frais d'installation de l'usine génératrice.

On a vu plus haut [1] que les petites stations centrales de 50 à 500 kilowatts arrivaient à coûter de 1 500 à 2 500 fr par kilowatt de puissance, tous frais compris. Afin de ne pas exagérer le chiffre de ces dépenses de construction et en négligeant le prix des terrains, qui n'est pas à considérer pour la plupart de ces usines privées, nous prendrons seulement une dépense de 1 000 à 1 500 fr par kilowatt, suivant l'importance de l'usine considérée [1].

Ces stations centrales privées ne marchent généralement que pendant les heures d'éclairage, et en partie seulement. Leur coefficient d'utilisation est tout au plus de 10 à 12 p. 100, ce qui correspond à environ 1 000 kilowatts-heure produits annuellement par kilowatt de puissance à l'usine.

En négligeant les pertes dans les canalisations assez courtes de l'installation, on voit que les *frais d'intérêt et d'amortissement* (à 5 p. 100 seulement) des dépenses de premier établissement seraient d'environ 0,05 fr à 0,075 fr par kilowatt-heure utile.

Quant aux *frais de production d'énergie*, ils sont relativement très élevés dans ces usines privées d'éclairage, en raison des petites unités employées et du mauvais coefficient d'utilisation. Nous avons déjà cité quelques prix de revient des stations municipales d'éclairage à Paris (0,35 fr à 0,55 fr par kilowatt-heure produit, pour des usines de respectivement 800, 255, 83 et 30 kilowatts de puissance.

Nous citerons encore un prix de revient très intéressant communiqué par M. N. Demarest, ingénieur en chef de l'établissement Derry et Toms, à Kensington. Cet établissement possède une usine d'éclairage électrique d'une puissance totale de 450 chevaux, qui fonctionne dix heures par jour pendant neuf mois de l'année, et quatorze heures par jour pendant l'hiver, c'est-à-dire avec un coefficient d'utilisation bien meilleur que celui de la plupart de ces petites stations centrales d'éclairage.

Voici les dépenses annuelles d'exploitation de cette usine :

Si l'on ajoute à ces dépenses les frais d'intérêt et d'amortissement, évalués au minimum

[1] Voir 2e partie du mémoire original, ch. III, § U, p. 51.

[1] Il est bien entendu que nous ne tenons aucun compte des dépenses pour l'installation intérieure des fils et des lampes, qui sont aussi bien à considérer, si on achète l'énergie au dehors.

	TOTAUX	Par kilowatt-heure
	Marks	Marks Centimes
Charbons et autres combustibles	14 903 »	0,102 = 12,8
Huile, eau, frais de dépôt . .	3 982,3	0,034 = 4,2
Entretien et réparations. . .	1 547,7	0,008 = 1 »
Salaires du personnel	7 534,6	0,048 = 6 «
TOTAUX DES DÉPENSES D'EXPLOITATION	27 967,6	0,192 = 24,0
Usure	6 881,6	0,044 = 5,5
Valeur locative	2 300 »	0,009 = 1,1
DÉPENSES TOTALES.	37 149,2	0,245 = 30,6

ci-dessus (0,05 fr. par kilowatt-heure utile) on arrive à une *dépense totale d'environ 0,35 fr. par kilowatt-heure utile.*

Cette dépense doit être considérée comme un minimum, dans la plupart des petites stations centrales privées pour éclairage. Néanmoins, en raison des tarifs de vente très élevés appliqués dans certaines villes françaises par les stations centrales publiques, on peut encore avoir intérêt à faire son éclairage soi-même.

Mais ce n'est que pour un temps. Tous les transports de force ou stations centrales privées dont nous venons de parler devront en effet logiquement disparaître devant les grandes entreprises de distribution d'énergie qui font l'objet de la présente étude.

Il peut paraître anormal *a priori* que les grandes entreprises dont nous parlons puissent vendre l'énergie aux industriels à un prix très inférieur à celui auquel ces industriels pourraient la produire eux-mêmes. Mais si on considère l'influence énorme de la *puissance* des usines, et surtout d'un bon *coefficient d'utilisation*, sur les conditions économiques de la production d'énergie, on se rend facilement à l'évidence. Il suffit de se rappeler qu'entre une usine génératrice de 10 000 kilowatts, par exemple, affectée spécialement à la production d'énergie pour tramways ou force motrice, et une petite station centrale d'éclairage ayant très peu de débit, les frais de production du kilowatt-heure peuvent varier dans le rapport de 1 à 10 — par exemple, de 0,04 à 0,40 fr — ainsi qu'on l'a indiqué.

Il est donc certain que les petites usines privées n'auront plus aucune raison d'être, au point de vue économique, dès que l'énergie électrique pourra être vendue aux industriels à des prix de 0,10 fr à 0,20 fr, par exemple, pour la force motrice — suivant l'importance de la consommation — et 0,20 à 0,30 au plus, pour l'éclairage. Or ces prix de vente sont parfaitement réalisables pour les stations régionales dont nous envisageons la création.

En dehors de la question d'économie, nous avons souvent entendu invoquer des raisons plus ou moins plausibles pour justifier cette tendance opiniâtre à *faire son électricité soi-même.* Ces raisons ne résistent pas à l'examen. On invoque, par exemple, l'*indépendance*, on veut rester maître chez soi et ne pas être tributaire d'une usine étrangère. Mais si on ne se paye pas de mots, on s'aperçoit bien vite que l'indépendance existe bien plutôt, au point de vue industriel, pour celui qui reçoit son énergie d'une grande usine régionale — où il peut en puiser, à tout instant, la quantité qui lui est nécessaire, si petite ou si considérable soit-elle, sans déranger personne — que pour le propriétaire d'une petite station centrale, qui est d'abord obligé de mettre en train son installation de force motrice, pour pouvoir faire marcher ses ateliers, et dont l'entreprise tout entière peut se trouver arrêtée, à la suite d'un accident quelconque survenu à cette installation. De plus, ces petites centrales privées n'ont généralement pas de grandes réserves, quelquefois même pas du tout. Au point de vue sécurité et régularité de marche, l'industriel se trouvera donc bien plus tranquille, s'il prend son énergie dans une grande centrale, qui possède toujours une ou plusieurs unités de réserve, et qui dispose de toutes les ressources nécessaires, tant en personnel qu'en matériel de rechange, pour parer aux accidents possibles. D'ailleurs, les grosses réparations nécessitées par ces accidents sont — avec les visites périodiques des machines, les nettoyages de chaudières, etc. — autant de causes d'arrêts, ou de chômages plus ou moins prolongés, pour les ateliers qui dépendent de ces usines particulières de force motrice.

Enfin, dans les agglomérations urbaines, l'installation des machines à vapeur ou des moteurs à gaz, et surtout celles des générateurs à vapeur, sont soumises à des prescriptions administratives assez gênantes et toujours coûteuses à suivre. Dans ce cas, le bruit et les trépidations causés par ces installations entraînent souvent des réclamations ou des plaintes de la

part des voisins, et quelquefois même des procès. La présence de ces usines d'éclairage ou de force motrice augmente d'ailleurs considérablement les chances d'incendie, d'explosions ou accidents divers, d'où une augmentation correspondante des frais d'assurances.

On voit donc que la suppression de ces stations centrales privées débarrassera les chefs d'industrie d'une cause importante d'aléas, d'ennuis, et de sujétions de toute nature ; de plus, en leur enlevant tout souci au sujet de la force motrice, elle leur permettra de reporter toute leur activité sur l'exploitation directe de leurs entreprises. Enfin, elle leur épargnera des dépenses souvent importantes de premier établissement, qui pourront être plus utilement employées à l'amélioration des moyens de production de ces entreprises.

II. — Force motrice a vapeur.

Pour établir le prix de revient du cheval-heure nominal fourni par les machines à vapeur, on détermine généralement les dépenses annuelles de l'usine et on divise ces dépenses, d'abord par la puissance *nominale* de la machine, pour avoir le coût du *cheval-an*, ensuite par la durée moyenne annuelle de marche, pour avoir le coût du *cheval-heure*.

La plupart des ingénieurs qui ont récemment étudié cette question [1] (Sauvage, Thurston, Eberle, Weissenbach-Griffin, Otto Marr, Gray, etc.) tiennent généralement compte des frais d'intérêt et d'amortissement des dépenses de construction, mais négligent, à peu près complètement, les dépenses d'eau, frais de visites périodiques, manutentions, réparations au dehors, en un mot tous les frais généraux et dépenses extraordinaires qui sont imputables à l'installation de force motrice. Ces dépenses sont, en effet, à peu près négligeables pour les petites puissances, mais elles deviennent relativement considérables, pour une usine à vapeur d'une importance moyenne.

De plus, les dépenses de vapeur ou de combustibles sont généralement basées sur des *consommations d'essai*, qui ne correspondent pas aux conditions d'une marche industrielle courante. Enfin, ces dépenses ne tiennent pas assez compte des périodes d'allumage et de réchauffage des chaudières et des machines, de l'énergie perdue pendant les arrêts de nuit et aux heures des repas, des condensations dans les conduites, etc., etc.

Les dépenses supplémentaires nécessitées par le réchauffage des chaudières et machines, après le refroidissement total ou partiel qui suit les périodes d'arrêt, sont plus importantes qu'on ne le croit généralement. M. Otto Marr estime que l'allumage et le réchauffage d'une chaudière complètement refroidie nécessitent autant de combustible que l'on en consommerait pendant 3 ou 4 heures de service normal. D'après ses calculs, on doit, pour une marche de 300 jours de 11 heures (avec 1 heure d'arrêt journalier pour le déjeuner), compter 16,1 p. 100 de combustible en plus pour l'allumage, le réchauffage ou le maintien en température des générateurs à vapeur.

Nous avons donc établi nos prix de revient (*voir tableau n° V*) en tenant compte des consommations de charbon *correspondant à la marche industrielle, à pleine charge*, avec un supplément de 15 à 20 p. 100 pour les allumages, les pertes par condensation, etc.

Nous donnons les dépenses de premier établissement en bloc, le détail de ces dépenses étant facile à établir pour chaque cas particulier. Pour les raisons données plus haut, nous négligeons de calculer la dépense par cheval-an, qui ne correspond à rien, pour la force motrice à vapeur. Enfin, nous nous sommes contentés de calculer le prix de revient du cheval-heure, *pour une durée de* 3 000 *heures de marche*, qui correspond aux conditions ordinaires d'exploitation de la plupart des ateliers, usines, fabriques ou manufactures.

Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que les chiffres du tableau V n'étant que des moyennes données pour fixer les idées, ne pourraient s'appliquer *rigoureusement* à toutes les installations de force motrice. Nous nous sommes donc abs-

[1] Voir à ce sujet : *Les moteurs à vapeur*, par Sauvage, ingénieur des Mines (Paris, Gauthier-Villars, encyclopédie Léauté). — *Traité de la machine à vapeur*, par R.-H. Thurston (traduit par M. Demoulin, Baudry et Cie, éditeurs). — *Kosten der Krafterzeugung*, par Eberle (Knapp 1898). — *Kosten der Betriebskräfte*, par Otto Marr (Munich et Berlin, 1901). — *Prix de revient de la force motrice en Suisse*, par Weissenbach-Griffin (*Schweizerische Bauzeitung*, 12 juillet 1902). — *Mémoire sur le prix réel de la force motrice*, par C.-D. Gray (*Journal of the Franklin Institute*, 1902).

Tableau V. — *Prix de revient de la force motrice avec moteurs à vapeur, calculé pour la marche à pleine charge.*

	Machines a échappement libre				Machines a condensation avec chaudières séparées.			
	Locomobile de 5 chevaux.	Machine demi-fixe de 10 chevaux.	Machine demi-fixe de 20 chevaux.	Machine demi-fixe de 40 chevaux.	Machine horizontale mono-cylindrique de 50 chevaux.	Machine horizontale mono-cylindrique de 60 chevaux.	Machine horizontale mono-cylindrique de 100 chevaux.	Machine horizontale compound de 500 chevaux.
Bases du prix de revient :								
Dépenses totales d'installation (1) . . . . . . Fr.	4 500	10 000	16 000	26 000	36 000	40 000	60 000	200 000
Consommation de charbon par cheval-heure indiqué (2) . . . . . . Kg.	4,4	3,8	3,5	3	2,2	2,2	1,9	1,25
Dépenses annuelles pour 3000 heures de marche :								
Dépenses de combustibles (3) . . . . . . Fr.	1 650	2 850	4 200	7 200	6 600	7 920	11 400	37 500
Frais généraux, eau, entretien, graissage, réparations, etc.	500	800	1 500	2 400	3 200	3 600	5 000	15 000
Salaires	1 000	1 300	1 800	2 200	3 000	3 000	3 600	6 000
Intérêt et amortissement (4)	360	800	1 280	2 080	2 880	3 200	4 800	16 000
Totaux par an . . Fr.	3 510	5 750	8 780	13 880	15 680	17 720	24 800	74 500
Nombre annuel de chevaux-heure indiqués (avec marche constante à pleine charge)	15 000	30 000	60 000	120 000	150 000	180 000	300 000	1 500 000
a) Prix de revient normal du cheval-heure *indiqué* . . . . . Cent.	23,4	19,1	14,63	11,57	10,45	9,84	8,26	4.97
a) Prix (5) de revient normal du cheval-heure *effectif*. . . . Cent.	28,5	23	17,4	13,6	12,2	11,3	9,5	5,7
b) Prix de revient réel du cheval-heure *utile*. Cent.	42,7 à 71	34,5 à 57,5	26,1 à 43,5	20,4 à 34	18,3 à 30,5	17 à 28,3	14,2 à 23,8	8,65 à 14,2

N. B. — Les chiffres *a*) se rapportent au *travail produit* par les machines motrices à vapeur et les chiffres *b*) au *travail réellement utilisé* par les machines ou outils divers de l'atelier, en admettant entre ces deux quantités de travail un rapport de 1,5 à 2,5, suivant les plus ou moins bonnes conditions d'utilisation de la force motrice.

(1) Ces dépenses comprennent les frais d'achat, transport et montage des machines, chaudières et tous accessoires plus une part de bâtiments, la cheminée et les fondations de machines, mais pas de terrains.

(2) Ces chiffres se rapportent aux consommations *industrielles*, *pour des machines à pleine charge* et comprennent les allumages, pertes, condensations dans les conduites, etc.

(3) Le charbon considéré est de la houille demi-grasse à 7 500 calories vaporisant pratiquement 7,500 kg d'eau par kilogramme de charbon. — Prix : 25 fr la tonne, pour les petites installations et 20 fr la tonne rendue en soute, pour les machines de 20 à 500 chevaux.

(4) L'intérêt est pris à 5 p. 100 et l'amortissement à 3 p. 100 (moyenne) soit en tout 8 p. 100 des dépenses de construction.

(5) Les prix de revient par cheval-heure *effectif* ont été déduits de ceux du cheval *indiqué*, en tenant compte d'un rendement organique de 82 à 88 p. 100 suivant la puissance des machines.

tenus de calculer les prix de revient du cheval-heure, pour chaque puissance (de 1 à 100 chevaux) et pour toutes les durées de marche (de 1 à 24 heures par jour) ainsi que l'ont fait certains des auteurs cités ci-dessus. Un pareil travail est aussi fastidieux qu'inutile, puisque ces chiffres ainsi donnés à l'avance ne correspondent jamais *exactement* à la réalité des faits. Au surplus, il sera toujours facile, en rectifiant les données de notre tableau, d'après les conditions

particulières de chaque usine, de calculer le prix de revient exact de la force motrice pour chaque cas considéré.

Il est très important de ne pas perdre de vue que les dépenses ci-dessus, notamment en ce qui concerne les consommations de charbon, supposent un bon état d'entretien du matériel, une très bonne conduite des chaudières et des machines, enfin et surtout, la *marche continuelle à pleine charge* des machines à vapeur. Or ces conditions simultanées sont bien loin d'être réalisées dans la pratique. Les chiffres *a* du tableau V ne peuvent donc être considérés que comme des dépenses *minima*, qui sont bien souvent très largement dépassées, dans une marche industrielle courante.

Il est intéressant de déterminer la part proportionnelle des diverses dépenses qui constituent le prix de revient total de la force motrice à vapeur. D'après les chiffres du tableau V, cette décomposition s'établit comme suit :

	MACHINES à échappement libre (5 à 40 chv.)	MACHINES avec condensation (50 à 500 chv.)
	Moyenne p. 100.	Moyenne p. 100.
Frais d'intérêt et amortissement	13,2	19,4
Dépenses de combustible	48,9	45,8
Frais généraux, graissage, entretien et réparation	15,5	20,1
Salaires	22,4	14,7

III. — Moteurs a gaz.

Nous calculerons le prix du cheval-heure produit par les moteurs à gaz, de la même manière que pour les machines à vapeur.

Les bases adoptées seront les suivantes :

Gaz d'éclairage. — Le prix du gaz pour force motrice varie généralement en France de 0,15 fr à 0,20 fr le mètre cube. Nous prendrons le chiffre le plus faible, soit 0,15 fr le mètre cube.

Charbon de gazogène. — Anthracite ou braisette à 25 fr la tonne rendue en soute. Ce prix est relativement bas et son emploi suppose que les usines à gaz pauvre se trouvent dans des régions assez voisines des centres de production de charbons maigres.

Frais d'intérêt et d'amortissement. — Nous prendrons 10 p. 100 par an des dépenses de construction (5 p. 100 d'intérêt et 5 p. 100 d'amortissement), la durée des moteurs à gaz étant moindre que celle des machines à vapeur.

Frais généraux, graissage, entretien, réparations, etc. — Les frais de graissage sont un peu plus élevés pour les moteurs à gaz que pour les machines à vapeur. Néanmoins, nous prendrons les mêmes chiffres pour l'ensemble des dépenses de ce paragraphe.

Salaires du personnel. — Pour les petits moteurs, ces dépenses sont insignifiantes. Pour les groupes moteurs à gaz pauvre et gazogène, nous prendrons les mêmes dépenses que pour les chaudières et machines à vapeur.

D'après ces bases, on établit comme suit le prix de revient de la force produite à l'aide de moteurs à gaz. (*Voir tableau n° VI.*)

Nous rappellerons pour les chiffres du tableau VI ce que nous avons déjà dit plus haut pour la vapeur. Les dépenses portées dans ce tableau doivent être considérées comme pouvant être très largement dépassées dans la pratique courante.

Observations. — La part des frais d'intérêt et d'amortissement, par rapport aux dépenses totales de production, est de 10 à 15 p. 100 pour les petits moteurs au gaz d'éclairage, et de 25 à 30 p. 100 pour les installations au gaz pauvre ; celles-ci entraînent, en effet, des frais d'établissement relativement considérables. Aussi n'a-t-on guère d'intérêt à les adopter qu'à partir d'une puissance de 20 chevaux au moins, et lorsqu'il s'agit d'une demande à peu près constante et d'une longue durée de fonctionnement. Pour les faibles puissances, les moteurs à gaz d'éclairage sont plus avantageux, surtout lorsqu'il s'agit d'une marche intermittente et que le gaz pour force motrice est livré à un prix modéré.

Pour les petites forces — de 1 à 20 chevaux — les machines à vapeur peuvent lutter avantageusement contre les moteurs à gaz riche, lorsqu'il s'agit d'un service journalier très prolongé. Pour les courtes durées de marche, les moteurs à gaz d'éclairage ont encore l'avantage.

Pour les grandes puissances — 300 à 500 chevaux au moins — les chaudières et machines à vapeur peuvent, tous comptes faits, être aussi avantageuses que les installations à gaz pauvre.

Tableau VI. — *Prix de revient de la force motrice avec moteurs à gaz, calculé pour la marche à pleine charge.*

	MOTEURS A GAZ D'ÉCLAIRAGE					MOTEURS A GAZ PAUVRE			
	1 cheval	5 chevaux	10 chevaux	20 chevaux	40 chevaux	40 chevaux	50 chevaux	60 chevaux	100 chevaux
Bases du prix de revient :									
Dépenses totales d'installation (1) . . . . . Fr.	2 000	4 500	7 000	10 000	15 000	32 000	36 000	40 000	55 000
Consommation de gaz par cheval-heure effectif. Lit.	1 100	860	750	670	620	»	»	»	»
Consommation de charbon par cheval-heure effectif (2). . . . . . . Kg.	»	»	»	»	»	0,750	0,720	0,700	0,680
Dépenses annuelles pour 3 000 heures de marche :									
Dépenses de gaz (3) ou combustibles (4) . . Fr.	495	1 935	3 375	6 030	11 160	2 250	2 700	3 150	5 100
Frais généraux, eau, graissage, entretien, réparations, etc.	200	500	825	1 320	2 400	3 000	3 200	3 600	5 000
Salaires.	300	400	500	650	1 000	2 500	3 000	3 000	3 600
Intérêt et amortissement.	200	450	700	1 000	1 500	3 200	3 600	4 000	5 500
Totaux . . Fr.	1 195	3 285	5 400	9 000	16 060	10 950	12 500	13 750	19 200
Nombre annuel de chevaux-heure effectifs (avec marche constante à pleine charge)	3 000	15 000	30 000	60 000	120 000	120 000	150 000	180 000	300 000
Prix (*a*) de revient total du cheval-heure *produit*. Cent.	39,8	21,9	18	15	13,4	9,13	8,33	7,64	6,4
Prix (*b*) de revient réel du cheval-heure *utile*. Cent.	60 à 100	33 à 55	27 à 43	22,5 à 37,5	20,1 à 33,5	13,8 à 23	12,5 à 20,7	11,5 à 19,2	9,6 à 16

N. B. — Les chiffres (*a*) se rapportent au *travail produit* par les moteurs à gaz et les chiffres (*b*) au travail *réellement utilisé* par les machines réceptrices de l'atelier, en supposant entre ces deux quantités de travail un rapport de 1,5 à 2,5 suivant les plus ou moins bonnes conditions d'utilisation de la force motrice.

(1) Dépenses comptées comme ci-dessus, pour les machines à vapeur.

(2) Ces consommations se rapportent à une marche industrielle, en pleine charge et comprennent les combustibles brûlés, le cas échéant, par les petites chaudières à vapeur de certains gazogènes.

(3) Gaz à 0,15 fr le mètre cube.

(4) Anthracite ou braisette, à 25 fr la tonne, rendue en soute.

(5) 5 p. 100 d'intérêt et 5 p. 100 d'amortissement, soit en tout 10 p. 100 des dépenses de construction.

Mais pour les puissances moyennes — 25 à 300 chevaux, par exemple — les moteurs à gaz pauvre réalisent incontestablement le moyen le plus économique de production d'énergie par les moteurs thermiques (1).

(1) Nous ne parlerons pas ici du moteur Diesel dont l'emploi donne, paraît-il, des consommations de combustible exceptionnellement économiques — (on parle de 150 à 180 gr de pétrole brut par cheval-heure) — parce que nous ne possédons pas encore des résultats industriels de longue durée sur ce moteur, qui est d'une application relativement récente, et qui n'a d'ailleurs été construit, jusqu'à ce jour, que pour des puissances peu considérables. Nous pensons néanmoins que ce genre de moteur *à combustion* a ouvert une voie nouvelle des plus intéres-

IV. — Moteurs a air comprimé.

Nous dirons quelques mots d'un mode de production d'énergie qui ne s'est pas beaucoup

généralisé, mais qui est cependant assez employé à Paris. Nous voulons parler des moteurs à air comprimé.

La *Compagnie parisienne de l'air comprimé* livre l'air à une pression effective de 5 kg, soit 6 kg de pression absolue. Il est mesuré, soit par des compteurs de volume (Samain ou analogues) dont l'emploi suppose une pression constante, soit par des compteurs de vitesses, sorte d'anémomètres, qui tournent d'autant plus rapidement que la *dépression*, c'est-à-dire la différence entre la pression initiale et la pression d'écoulement est plus grande. La section du compteur étant constante, les chiffres enregistrés sont donc proportionnels au volume d'air passant par ce compteur.

Théoriquement, la consommation d'air de ces moteurs est inversement proportionnelle à la température absolue (le zéro absolu est à — 273°). Suivant donc qu'on emploiera de l'air ordinaire à 10°, ou de l'air chauffé à 200°, par exemple, les consommations théoriques seront dans le rapport $\frac{473}{283}$, c'est-à-dire d'environ 1,7 à 1. En outre, avec de l'air non réchauffé, la détente entraîne un abaissement considérable de température dans le cylindre et les conduites d'échappement, sur les parois desquels il se forme de la glace et du givre, par suite de la congélation de l'eau contenue dans l'air ; les orifices d'échappement s'obstruent et provoquent ainsi des contre-pressions nuisibles. D'autre part, l'huile se congelant également, le graissage ne se fait plus bien et les résistances passives deviennent considérables. D'où un très mauvais rendement mécanique.

Le réchauffage de l'air est donc indispensable pour une bonne marche de ces moteurs. Avec un réchauffage de 60 à 100°, les petits moteurs — de 1/10 à 1 cheval consomment de 30 à 35 m³ d'air (comptés à la pression asmosphérique) par cheval-heure effectif.

Dans les moteurs de 20 à 50 chevaux (il existe à Paris des moteurs de 60 chevaux en fonctionnement) l'air est réchauffé par des appareils spéciaux, qui portent quelquefois sa température à 200 ou 250°. Dans ces conditions, la consommation par cheval-heure effectif peut descendre à 16 ou 18 m³ d'air, alors qu'elle atteint 28 m³, avec de l'air à 10°.

Le tarif de vente de l'air comprimé pour les petits moteurs est généralement de 1,25 centime ou 1,5 centime par mètre cube d'air, à la pression atmosphérique. Pour les grandes puissances, la Compagnie consent des conditions spéciales, suivant l'importance de la consommation.

Coût de réchauffage de l'air, avec fourneau à gaz (petits moteurs) : 5 centimes environ par cheval-heure ; avec fourneau à coke : 1 centime à 1,5 centime.

santes, et qu'il est loin d'avoir dit son dernier mot, au point de vue de la production économique de force motrice.

V. — Comparaison entre la force motrice produite par les machines thermiques et l'énergie électrique.

Nous avons donné dans les tableaux V et VI le prix de revient du cheval-heure *produit* par les machines à vapeur ou les moteurs à gaz, rapporté à la puissance *nominale* de ces machines ou moteurs.

Tous les auteurs qui ont voulu comparer les prix de revient de l'énergie électrique et de celle produite par les moteurs thermiques, se sont contentés de mettre en regard des dépenses annuelles de force motrice, à gaz ou à vapeur — obtenues comme on l'a vu plus haut — la dépense d'énergie électrique, calculée d'après les tarifs de vente, *en supposant une marche constante à pleine charge des moteurs électriques, pendant toute la durée d'utilisation.*

Rien n'est plus inexact que ces comparaisons, parce qu'elles ne tiennent aucun compte des conditions réelles d'utilisation des diverses sources de force motrice, dans la pratique industrielle.

En effet, s'il s'agit par exemple d'un moteur électrique commandant par transmissions une série de machines-outils d'un petit atelier, il faudra remarquer tout d'abord que ce moteur, ne comportant ni chaudière, ni gazogène (lesquels doivent être allumés à l'avance et se refroidissent pendant les arrêts) ne fonctionnera que pendant la durée *utile* de la marche de l'atelier. De plus, il ne consommera jamais que l'énergie strictement nécessaire aux besoins de cet atelier. Enfin, il aura toujours, même à faible charge, un rendement très avantageux. Les machines à vapeur, au contraire — et, plus encore, les moteurs à gaz — ont aux petites charges des ren-

dements assez faibles, ce qui augmente très sensiblement la dépense de gaz ou de combustible par cheval-heure *utile*. Comme, d'autre part, les dépenses annuelles concernant l'intérêt et l'amortissement, les frais généraux, les réparations, les salaires, etc., sont à peu près indépendantes de la charge et de la durée de marche des machines, il s'ensuit que le prix de revient normal du cheval-heure *produit* par les moteurs thermiques pourra s'accroître *dans des proportions considérables*, si le coefficient de charge et la durée d'utilisation sont assez faibles — tandis que, dans les mêmes conditions défavorables, le moteur électrique ne dépensera toujours que les quantités d'énergie réellement *utilisables*, et que le cheval-heure électrique sera toujours livré *au même prix*, convenu à l'avance avec la station centrale, quels que soient le travail et la durée de marche réelle des machines considérées.

S'il s'agit d'un atelier dans lequel chaque machine est commandée directement par un moteur spécial, l'emploi de l'énergie électrique permettra, en plus des avantages énumérés ci-dessus [1], d'économiser toute la force motrice employée inutilement à faire tourner les transmissions d'un bout à l'autre de la journée, même lorsqu'il y a peu ou point de machines en travail. La totalité de l'énergie fournie par la station centrale d'électricité sera alors *directement* utilisée par les outils ou machines (sous réserve du rendement, d'ailleurs très élevé, des moteurs électriques), tandis qu'avec les moteurs thermiques, une faible partie seulement du travail *produit* par ces moteurs est réellement *utilisée* par les outils ou machines en fonctionnement.

La puissance qui se perd ainsi dans les transmissions est considérable. On a, par exemple, constaté dans une fabrique de ciment de Westphalie, que sur une force motrice de 400 chevaux, 70 étaient absorbés uniquement pour mener les transmissions, ce qui, pour 3 000 heures de travail, donne un *travail perdu de 210 000 chevaux-heure par an*.

Voici d'ailleurs, d'après M. Selby Bigge (*Electrical Review*) un résumé des constatations faites à ce sujet dans divers genres d'industries :

[1] Voir 1re partie, ch. IV, p. 24.

GENRE DE TRAVAIL	FORCE INITIALE	FORCE PERDUE dans les transmissions
	chevaux.	Pour cent.
Tréfilerie et polissage. . .	400 »	39
Estampage et polissage . .	74 »	77
Chaudronnerie et construction	38 »	56
Atelier de grosse construction	112 »	57
Atelier de petite construction	74 »	54
Fabrique d'outils.	47 »	52
Fabrique d'outils.	190 »	57
Fabrique de vis.	244 »	47

Enfin, voici le résumé d'essais très précis et très minutieux qui ont été exécutés à Reims, en Décembre 1896, et dont les résultats nous ont été communiqués par M. Bégot, ingénieur de la Compagnie générale d'Électricité de Creil.

	ATELIER Nº 1		ATELIER Nº 2	
	Chevaux.		Chevaux.	
Travail total *indiqué* pour la pleine charge.		193,345		71,178
Travail consommé par la machine seule, à vide (1).	24,389	43,818	12,438	31,368
Travail consommé par les transmissions seules (1)	19,429		19,930	
Travail *utile* fourni aux machines-outils (calculé par différence) .		149,527		38,810
Proportion du travail *utile* par rapport au travail *indiqué* . . .		77 p. 100		54 p. 100

(1) Le travail absorbé par les machines et les transmissions a été mesuré *à vide*, c'est-à-dire les machines n'ayant pas de charge et les courroies des transmissions étant sur les poulies folles des outils. Lorsque les machines-outils fonctionnent, les résistances passives des machines et des transmissions sont évidemment plus considérables, et par conséquent la proportion du travail *utile* au travail *indiqué* est en réalité plus faible que celle indiquée ci-dessus.

D'après ces essais, on voit que — sans même tenir compte du travail consommé par les machines à vapeur elles-mêmes — l'énergie perdue dans les seules transmissions de ces deux ateliers est d'au moins 400 chevaux-heure par journée de dix heures, soit environ 120 000 che-

vaux-heure par an, ce qui — à 0,07 fr seulement le cheval-heure — représente une dépense annuelle de 8 400 fr, sans parler des frais considérables de graissage, d'entretien et de réparation des arbres de transmission, paliers, poulies, courroies, etc., que la commande directe des outils par moteurs électriques permettrait également de supprimer.

Nous avions donc bien raison d'affirmer ci-dessus qu'il n'est pas possible d'établir une comparaison entre le prix de revient ordinaire du cheval-heure *produit* par les moteurs thermiques et celui du cheval-heure électrique *livré* par une station centrale, sans affecter un *coefficient spécial d'utilisation* à ces deux sortes d'énergie, puisqu'elles ne sont pas, si on peut s'exprimer ainsi, de même qualité utilisable.

Pour toutes les raisons développées plus haut l'emploi des moteurs électriques permet de réaliser des économies considérables de force motrice dans tous les ateliers, usines ou manufactures, où la marche des outils est intermittente et la durée d'utilisation assez faible, ou dans ceux qui possèdent de nombreuses transmissions. La constatation de ces économies, lorsqu'elle peut être faite pratiquement, arrive à stupéfier les industriels eux-mêmes, car ceux-ci se rendent rarement compte de la mauvaise utilisation de leur force motrice. Presque toujours, en effet, ils ignorent aussi bien le travail *indiqué* fourni par leurs machines à gaz ou à vapeur que le travail *utile* réellement dépensé sur les outils ou machines en mouvement.

Ce n'est que lorsqu'on remplace les moteurs à gaz ou à vapeur d'un atelier, par des moteurs électriques appelés à commander les mêmes machines-outils ou appareils, qu'on peut déterminer exactement le chiffre des économies ainsi réalisées sur la force motrice, grâce à l'emploi de la commande électrique. Nous citerons quelques exemples à ce sujet, d'après un article de M. Selby à l'*Electrical Review*, et des communications faites récemment aux sections réunies de mécanique et d'électricité de l'institut Franklin.

A Hambourg, en 1898, les grues à vapeur ont levé 1 825 000 tonnes, pour une dépense totale — charbon, personnel, etc. — de 512 900 fr, soit 0,28 fr *par tonne élevée*. Les grues électriques qui ont remplacé ces grues à vapeur, ont dépensé 8 907 fr (dont 3 330 fr de courant et 5 577 fr de main-d'œuvre et divers) pour élever 77 697 tonnes ce qui correspond à 0,114 *par tonne élevée*. Les grues à vapeur employaient comme charbon des fines à 10 fr la tonne et les grues électriques prenaient le courant sur le réseau, à 0,20 fr le kilowatt-heure.

La compagnie des freins Westinghouse a remplacé dans ses ateliers 30 machines à vapeur de 1 375 chevaux de puissance totale, par des turbines Parsons attelées à des alternateurs commandant 57 moteurs électriques, développant ensemble 1 065 chevaux. La nouvelle installation a permis de constater une *économie de* 40 p. 100 *en vapeur et* 32,2 p. 100 *en charbon*, malgré le rendement assez ordinaire des turbines à vapeur.

Aux ateliers Vickers et Maxim, la consommation de charbon, avec une installation complètement à vapeur, était de 476 tonnes pendant trois mois d'hiver. Après l'installation d'une station centrale électrique, la consommation pendant la même période a été de 232 tonnes, malgré de nombreuses machines nouvelles placées dans les ateliers et le doublement de l'éclairage électrique. Si on tient compte de ces augmentations l'*économie réalisée est d'environ* 60 p. 100.

M. Samuel Vauclain, directeur des ateliers de construction de locomotives Baldwin, à Philadelphie, a déclaré à l'institut Franklin que s'il lui fallait revenir aux transmissions et supprimer les commandes électriques, *ses prix de revient devraient être majorés de* 20 *à* 25 p. 100 *et la surface de ses ateliers augmentée de* 40 p. 100.

Enfin, M. W. Tapley a également communiqué à l'institut Franklin les résultats obtenus par l'emploi des transmissions électriques à l'Imprimerie du gouvernement. Cet emploi a fait ressortir une *économie de charbon et de gaz égale à* 110 000 fr, avec une dépense moindre de personnel pour la force motrice, bien que depuis l'introduction de l'électricité, la puissance employée ait presque doublé, et que l'éclairage comporte 5 000 lampes de 16 bougies au lieu de 2 000. La production pendant cette période a été de 25 p. 100 en augmentation. Le coût total de la transformation (750 000 fr), pourra être amorti en cinq ans, rien que par l'accroissement de production résultant de la commande électrique des machines.

Pour appuyer les chiffres ci-dessus, nous nous permettrons de citer encore quelques observa-

tions typiques qu'il nous a été donné de faire personnellement, dans une station centrale de la région de l'Est.

1° Entreprise de charpente en bois. — Machine à vapeur de 20 chevaux, actionnant par transmissions une dynamo d'éclairage et plusieurs machines à bois (scies circulaires et à ruban, toupie, raboteuse, meules, etc.).

Marche utile de l'atelier : dix heures par jour, pour trois cents jours par an ; durée de fonctionnement de chacune des machines-outils : quatre à sept heures par jour ; consommation en charbon : 700 kg par jour.

Machine et chaudière en mauvais état d'entretien. On remplaça pendant quelque temps la machine à vapeur par un moteur électrique de 10 chevaux, attaquant la transmission principale.

La puissance instantanée enregistrée par les instruments, au moment du fonctionnement simultané de toutes les machines, fut de 6 925 watts, soit, en tenant compte du rendement des moteurs, 5 886 watts. C'est-à-dire que la puissance *utile*, prise par l'ensemble des machines, était seulement de 8 chevaux *effectifs* (sans la dynamo d'éclairage).

La consommation moyenne journalière, enregistrée au compteur, fut de 42,5 kilowatts-heure, soit environ 58 chevaux-heure *électriques*, *au lieu de* 200 chevaux-heure *nominaux à vapeur*.

Dépense totale annuelle avec la vapeur : 6 650 francs (non compris intérêts et amortissement) soit $\frac{7\,650}{200 \times 300} = 0,127$ fr par cheval-heure *nominal* et $\frac{7\,650}{58 \times 300} = 0,44$ fr, par cheval-heure *utile*.

Dépense annuelle avec l'énergie électrique (à 0,30 fr le kilowatt-heure) : $42,5 \times 300 \times 0,30 = 2\,750$ fr, ce qui représentait plus de 5 000 fr d'économies par an.

La suppression de la force motrice à vapeur permit également de couper court à un procès déjà intenté par les voisins, en raison de la présence de la chaudière.

2° Fabrique de lingerie. — Machine à vapeur de 10 chevaux commandant par transmission une dynamo d'éclairage, une scie à rogner les draps et 39 machines à coudre (15 de celles-ci fonctionnant séparément et 24 marchant 12 par 12 sur deux arbres de transmission).

Un moteur électrique ayant remplacé la machine à vapeur, on constata que la puissance *utile* moyenne, prise réellement par toutes les machines (dynamo comprise) était de 4 chevaux *effectifs*. Consommation moyenne du moteur : 30,1 kilowatt-heure par jour, soit environ 41 chevaux-heure *électriques*, *au lieu de* 100 chevaux-heure *nominaux à vapeur*.

Dépense annuelle totale avec la vapeur : 4 015 fr (sans intérêt ni amortissement), ce qui représente $\frac{4\,015}{30\,000} = 0,134$ fr par cheval-heure *nominal*.

Dépense annuelle avec l'électricité : 90 300 kilowatts-heure à 0,30 fr = 2 709 fr.

3° Marchand de grains. — Moteur à gaz de 1 cheval, commandant un trieur de grains et marchant 5 ou 6 heures par jour.

Consommation de gaz : 167 m^3 par mois, soit 1,170 litres, en moyenne, par heure de travail.

Un petit moteur électrique de 6/10 de cheval ayant été substitué au moteur à gaz, la consommation enregistrée fut en moyenne de 2 000 watts-heure par jour, soit environ 364 watts pour une heure. La puissance moyenne *utilisée* était donc seulement à peu près d'un demi-cheval.

Dépense en gaz (à 0,18 fr le mètre cube) : par cheval-heure *nominal*, $1,170 \times 0,18$ fr $= 0,211$ fr; par cheval-heure *utile*, 0,425; par mois, 30 fr.

Dépense en énergie électrique (à 0,30 fr le kilowatt-heure) : $2 \times 25 \times 0,30$ fr $= 15$ fr. par mois.

4° Imprimerie-lithographie. — Deux moteurs à gaz de 25 chevaux de puissance totale, marchant 10 heures par jour, commandaient les transmissions de quatre ateliers (typographie, lithographie, phototypie et papeterie) où se trouvaient 20 machines, presses ou massicots de diverses puissances, qui travaillaient, suivant les cas, de 2 à 6 heures par jour (Moyenne : 4 heures par jour).

La dépense journalière avec le gaz était d'environ 16 fr. On mit sur chacune des 20 machines un petit moteur électrique. Ces 20 moteurs représentaient une puissance totale de 16,2 chevaux. La consommation moyenne d'énergie électrique fut d'environ 30 kilowatts-heure par

jour, soit 7,5 pour une heure de marche. *La puissance totale utilisée était donc d'environ* 10 *chevaux, au lieu de* 25 *de puissance nominale.*

Dépense journalière d'énergie électrique (à 0,30 fr le kilowatt) : 9 fr.

Nous pourrions citer encore bien d'autres exemples où l'application des moteurs électriques a permis de réaliser d'importantes économies, notamment dans les monte-charges ou autres appareils de levage, commandés à la main ou par pression hydraulique [1].

Mais nous jugeons inutile de prolonger cette nomenclature. Les exemples ci-dessus démontrent surabondamment que dans la plupart des ateliers où la marche des machines est intermittente, le travail *utilisé* réellement par ces machines est à peine la moitié, et quelquefois le tiers, du travail total *produit* par les moteurs thermiques. C'est-à-dire que pour ces derniers moteurs, le prix de revient réel du cheval-heure *utile* sera toujours 1,5 à 2,5 fois supérieur au prix de revient *normal* donné dans les tableaux V et VI. On peut donc conclure que le prix de revient *réel* de la force motrice provenant de moteurs thermiques se tiendra ordinairement dans les limites ci-après, suivant les plus ou moins bonnes conditions d'utilisation de cette force motrice.

Prix de revient industriel du cheval-heure utile.

	MACHINES à vapeur.	MOTEURS à gaz.
	fr. c. fr. c.	fr. c. fr. c.
	Echappement libre.	*Gaz d'éclairage.*
Puissance de 1 chv	» »	de 0,60 à 1 »
— 5 —	de 0,43 à 0,71	de 0,33 à 0,55
— 10 —	de 0,34 à 0,57	de 0,27 à 0,43
20 —	de 0,26 à 0,43	de 0,22 à 0,37
— 40 —	de 0,20 à 0,34	de 0,20 à 0,34
	Condensation	*Gaz pauvre.*
Puissance de 50 chv	de 0,18 à 0,30	de 0,125 à 0,21
— 60 —	de 0,17 à 0,28	de 0,115 à 0,19
— 100 —	de 0,14 à 0,23	de 0,10 à 0,16
— 500 —	de 0,09 à 0,15	» »

(1) L'eau sous pression est généralement beaucoup plus coûteuse que l'énergie électrique et son emploi tend de plus en plus à être abandonné pour les ascenseurs, monte-charges, et autres appareils de levage.

D'après les chiffres des tableaux V et VI et les données ci-dessus, nous avons établi un graphique (*voir annexe V*) qui permettra de comparer d'un simple coup d'œil le *prix du revient* du du cheval-heure, *nominal* ou *utile*, produit par les moteurs thermiques — au *prix de vente* du cheval-heure électrique, tel que nous l'envisageons pour les futures stations régionales d'électricité.

On voit par ce graphique que si on peut arriver à vendre l'énergie électrique à des tarifs décroissants : de 0,30 fr à 0,20 fr le kilowatt-heure pour les petits moteurs, jusqu'à 0,15 fr ou 0,10 fr pour les grosses puissances — c'est-à-dire respectivement : de 0,22 fr à 0,15 fr et de 0,11 fr à 0,074 par cheval-heure électrique — l'emploi des moteurs thermiques n'aura plus aucune raison d'être, dans la plupart des ateliers. On a vu d'autre part que ces tarifs de vente (et même des tarifs inférieurs) sont déjà pratiqués en Angleterre et en Allemagne. Il n'y a aucune raison pour qu'il ne le soient pas bientôt en France, surtout dans les régions industrielles qui possèdent des sources économiques d'énergie : chutes d'eau, houille à bon marché, etc.

Observations. — Il est juste de faire remarquer que dans certains cas particuliers — par exemple dans les industries qui utilisent la vapeur pour le calandrage, le chauffage, ou autres usages accessoires — on peut avoir intérêt, malgré tout, à conserver les machines à vapeur. De même, pour les industries qui disposent d'une source gratuite d'énergie, telle que les gaz perdus des fours à coke ou des hauts fourneaux, les moteurs à gaz sont évidemment tout indiqués pour transformer cette énergie en force motrice industrielle.

Il convient également de ne pas perdre de vue que les prix de revient ci-dessus comprennent, pour ces moteurs thermiques, l'intérêt et l'amortissement des dépenses de premier établissement. Pour les installations déjà existantes, il y aurait lieu de supprimer ces frais d'intérêt et d'amortissement, qui représentent 13 à 20 p. 100 du prix de revient total pour les machines à vapeur, et 10 à 30 p. 100 de ce même prix pour les moteurs à gaz, suivant qu'il s'agit d'installations au gaz d'éclairage ou au gaz pauvre. Mais il faudra aussi tenir compte du fait que les installations déjà anciennes étant généralement en

moins bon état d'entretien, le prix de revient du cheval-heure donné par ces installations sera toujours plus élevé que celui obtenu dans des installations neuves, qui ont un bon rendement et qui nécessitent moins de frais d'entretien et de réparations.

Nous pensons donc que, tous comptes faits, les dépenses totales par cheval-heure ne seront pas sensiblement différentes si l'on considère successivement une usine à créer — pour laquelle il faudra tenir compte des frais d'intérêt et d'amortissement — et une installation déjà existante, pour laquelle on pourra négliger ces frais.

Enfin on peut se demander quels sont pour les moteurs électriques, les frais accessoires à ajouter au prix de vente de l'énergie. Les frais d'entretien de ces moteurs sont à peu près nuls. Les dépenses de graissage s'élèvent au plus à 0,5 c ou 0,6 par cheval-heure électrique. Quant aux frais de personnel pour la conduite et la surveillance, il n'y a pas lieu d'en tenir compte, puisque ces moteurs sont presque toujours mis en marche par l'ouvrier qui s'en sert directement. On voit donc que ces dépenses accessoires représentent à peine 0,6 c à 0,8 c par cheval-heure utile.

En ce qui concerne les frais d'intérêt et d'amortissement des installations électriques, nous donnons ci-après quelques indications qui permettront de calculer ces frais, d'après les dépenses de premier établissement.

Frais totaux d'installation des petits moteurs électriques (y compris transport, montage et accessoires) [1] :

Moteur de	1/12e à 1/5e de cheval.	400 à 500 fr environ.
—	1/2 cheval.	600 fr environ.
—	1 cheval.	750 fr —
—	2 chevaux.	1 000 fr —
—	3 chevaux.	1 200 fr —
Moteur de	4 chevaux.	1 400 fr environ.
—	5 chevaux.	1 600 fr —
—	8 chevaux.	2 000 fr —
—	10 chevaux.	2 400 fr —

(1) Les prix ci-dessus sont *forts* et pourront, dans certains cas, être réduits de 25 à 30 p. 100.

Il est évident que pour certains industriels qui possèdent déjà des installations de force motrice, l'achat d'un certain nombre de moteurs électriques est une grosse dépense, qui peut faire ajourner bien longtemps l'adoption de ces moteurs. Aussi sommes-nous d'avis que les stations centrales de force motrice doivent donner toutes facilités à ces industriels pour l'installation de l'énergie électrique. Ces stations ne doivent pas hésiter, pour commencer, à installer provisoirement ces moteurs à titre gratuit et à prendre à leur charge les frais d'essai — quitte à se faire rembourser plus tard — afin de permettre à l'industriel de se rendre compte *par lui-même* des économies réalisées ; un essai de ce genre vaut mieux que tous les raisonnements du monde, et il sera certainement très rare que cet essai ne soit pas suivi d'une commande ferme.

Si l'industriel ne peut pas faire les frais de l'installation électrique, la station centrale pourra, après essai, lui avancer cette installation, remboursable par exemple sur les économies réalisées. Il pourra même se créer, à côté de la station centrale, une Société ayant pour but de faire les avances nécessaires aux industriels qui se trouvent dans cette situation [1].

Nous sommes persuadés que des Sociétés de cette nature trouveraient un large champ d'action dans certaines régions industrielles et que leur intervention, assurée d'ailleurs d'être productive, aiderait très efficacement au développement des installations de force motrice électrique dans ces régions.

(1) Une Société de ce genre (Société pour le développement du tissage) fonctionne déjà à Lyon et rend de grands services aux tisserands, en leur avançant les fonds nécessaires à l'achat de métiers mécaniques et à l'installation de moteurs électriques sur ces métiers.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS

Section de Londres

Séance du 8 janvier 1903

Notes sur les constructions électriques de modèle récent, par **M. B. Esson**. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 329-361, mars 1903.

A l'Exposition de Francfort en 1891, on remarquait une grande diversité dans le type et la forme des machines.

Parmi les dynamos à courant continu, on y voyait, à côté des machines multipolaires à induit denté en tambour, les machines-volants de Fritsche, les machines à anneau plat de Schuckert et plusieurs machines à induit en anneau avec inducteur intérieur, dont les plus remarquables étaient celles de Siemens et Halske. Tous ces modèles, sauf un, ont disparu ; l'évolution des dix dernières années a fait converger vers une forme unique la construction de la dynamo à courant continu, aussi bien sur le continent européen qu'en Amérique et en Angleterre : le seul type qui se construise aujourd'hui est celui de la dynamo multipolaire à inducteurs disposés radialement et à induit denté en tambour.

Les alternateurs étaient peu nombreux à l'Exposition de Francfort : les deux plus remarquables étaient celui de la Compagnie Hélios et celui de Siemens et Halske. Mais, à la même date, la construction de ces machines revêtait en Angleterre des formes très variées : induits sans fer, avec inducteurs fixes ou mobiles, induits à noyau de fer avec ou sans projections polaires, induits enroulés en anneau Gramme, inducteurs à bobine unique où à bobine multiple, alternateur à fer tournant de Kingdon. Par une suite de modifications dont l'auteur rappelle les principales, les constructeurs d'Europe et d'Amérique ont abouti à l'établissement d'un type unique : inducteur mobile, à pôles disposés radialement et munis chacun d'une bobine d'excitation, induit à noyau de fer, présentant aux pôles une surface cylindrique, conducteurs induits placés dans des trous ou des encoches. L'induit est tantôt intérieur, tantôt extérieur à l'inducteur, mais la seconde forme est de beaucoup la plus répandue.

Conditions d'établissement des machines. — L'accord auquel on est arrivé sur le type général des machines ne se retrouve pas dans leurs détails et leurs proportions. Sur le continent, les faibles vitesses ont été partout adoptées et l'on emploie invariablement, pour la commande des génératrices électriques, des moteurs verticaux comme ceux des navires ou des machines horizontales comme celles de Weyher et Richemond ou de Sulzer. Il n'y a que peu de différence de vitesse, soit entre des machines motrices d'égale puissance provenant de constructeurs différents, soit entre les plus petits et les plus grands moteurs destinés aux stations centrales. Un moteur de 500 chevaux, par exemple, marchera à 120 tours par minute, et un moteur de 3 000 chevaux à 83. En Angleterre les conditions sont très différentes : la machine à grande vitesse est partout employée, mais sous toutes sortes de formes et à toutes sortes de vitesses. On ne sait donc jamais quelles dimensions doit avoir une génératrice pour fournir une puissance donnée.

En raison de l'adoption des vitesses faibles, la fréquence des machines à courant continu est plus basse sur le continent qu'en Angleterre. Ainsi les dynamos à courant continu de la station centrale de Hanovre, d'une puissance de 400 kilowatts, sont accouplées à des machines verticales marchant à 120 tours par minute. En Angleterre, des dynamos de même puissance seraient commandées par des machines à grande vitesse faisant 300 tours par minute. Dans le premier cas, avec 10 pôles, la fréquence est 10 ; dans le second, avec 6 pôles, elle serait 15. La machine Siemens et Halske de 1 000 kilowatts, à l'Exposition de Paris, marchait à 95 tours par minute et avait une fréquence de 11 ; la machine Lahmeyer de 350 kilowatts avait une fréquence de 9,4. De ces chiffres et d'autres que donne l'auteur, il ressort que sur le continent la fréquence des dynamos à courant continu est ordinairement de 9 à 11. En Angleterre, elle est d'au moins 50 p. 100 plus élevée.

On peut remarquer en passant que, malgré les apparences contraires, les pertes par hystérésis sont pratiquement les mêmes dans deux machines de fréquences différentes, si elles sont de même puissance et si l'induction dans les noyaux des induits a la même valeur ; le fait est facile à prouver. Mais c'est pour déterminer le *coefficient de puissance* d'un induit de dimensions données que la question de vitesse et de fréquence a de l'intérêt. Soient D le diamètre de l'induit en pouces, L sa longueur, R le nombre de tours par minute ; on appelle coefficient de puissance la quantité par laquelle il faut multiplier le produit D^2LR pour avoir la puissance de la machine. Prenant pour exemple les machines de Hanovre déjà citées plus haut, supposons qu'on accroisse leur vitesse de 50 p. 100 : elles feraient 180 tours par minute au lieu de 120. La fréquence serait alors conforme à la pratique anglaise, ce serait 15 au lieu de 10. Mais le facteur qui limite la puissance, c'est la température, puisque la méthode régulière est de prendre pour puissance normale d'un induit donné celle qui correspond à l'échauffement maximum qu'on peut tolérer. Or si l'on limite cet échauffement à la même valeur pour les deux vitesses, on constate que pour un accroissement de vitesse de 50 p. 100 la puissance ne peut augmenter que de 25 à 35 p. 100. Le coefficient de puissance est donc beaucoup plus faible pour la machine à grande vitesse. La *zone active*, comme dirait M. Mavor, est d'autant plus active que la vitesse est plus faible. Quoiqu'on puisse faire varier bien d'autres données de la machine (épaisseur de l'entrefer, induction dans l'entrefer, nombre de pôles, nombre de barres induites par pôle, etc.), il est en somme plus facile d'établir dans de bonnes conditions une dynamo à faible vitesse qu'une dynamo à grande vitesse.

Dans les alternateurs, la fréquence est fixe, mais leur construction est profondément différente selon qu'on les actionne par des moteurs à grande ou à faible vitesse. Soient deux alternateurs de même puissance dont l'un marche à 94 tours par minute et l'autre à 200 ; le second aura un diamètre beaucoup plus faible et une longueur plus grande. Si l'induction dans le noyau de l'induit a la même valeur dans les deux machines, la quantité de chaleur due à l'hystérésis sera la même, la masse de fer doux à magnétiser étant la même, mais comme la surface de rayonnement est réduite de 20 p. 100 environ dans la plus petite des deux machines, il faudra la munir d'un système de ventilation plus énergique.

Machines a courant continu. — Revenant aux dynamos à courant continu, on ne remarque pas de grandes différences entre la pratique suivie en Angleterre et celle de l'étranger. Pour un diamètre donné de l'induit, le nombre de pôles varie selon les types, mais en général les grandes machines ont une paire de pôles pour chaque longueur de 38 à 45 cm contenue dans le diamètre. L'intensité dépasse rarement 300 ampères par couple de balais, ce qui correspond à 150 ampères par circuit dans un induit enroulé en parrallèle. La puissance varie de 100 à 150 kilowatts par paire de pôles.

Rien n'est plus important dans la construction de la dynamo que l'appareillage des balais. Les balais de charbon sont aujourd'hui universellement en usage ; quant aux porte-balais, on peut les classer en trois types généraux : à glissière, à charnière, à réaction. Tous les trois donnent de bons résultats, mais le type à glissière est le plus en faveur. Dans cet appareil, le charbon glisse dans une encoche rectangulaire, tandis qu'un ressort, ou un doigt actionné par un ressort, l'appuie sur le collecteur. L'auteur voudrait voir supprimer l'anneau à glissière, les pignons et le volant à main qui servent à régler le calage des balais. Après l'essai de la machine, on fixerait rigidement les porte-balais en une position convenant à toutes les charges.

La construction des pôles et des couronnes polaires est à peu près la même dans les machines du continent que dans celles d'Angleterre. Dans les dynamos de l'A. E. G. et de Schuckert, les noyaux des pôles sont en acier plein et venus de fonte avec la couronne. La première de ces deux Sociétés boulonne sur chaque électro un épanouissement polaire feuilleté. Cependant, au moment de la visite de l'« Institution of Electrical Engineers » en Allemagne, l'A. E. G. adoptait la fonte au lieu de l'acier pour les couronnes inductrices et employait des pôles feuilletés, boulonnés sur la couronne comme des pôles pleins. La méthode qui consiste à emprisonner les pôles feuilletés dans la fonte de la couronne ne paraît avoir été adoptée par aucun constructeur du continent. L'acier

allemand, dit l'auteur, est inférieur à l'acier anglais, mais il est aussi beaucoup moins cher. Sur le continent comme en Angleterre, on donne ordinairement au rapport de l'arc polaire à la longueur des pôles une valeur comprise entre 0,66 et 0,7.

Les machines de la station centrale de Berlin ont fait l'admiration des membres de l' « Institution » lors de leur visite. Ce sont des dynamos à courant continu, pouvant donner 1 500 chevaux électriques à la tension de 250 à 280 volts, couplées à chacune des extrémités de l'arbre d'un moteur vertical de 3 000 chevaux, marchant à 83 tours par minute. Les inducteurs ont 16 pôles, et le diamètre des induits paraît être d'environ 3,60 m. L'épaisseur de l'entrefer est de 18 mm et l'induction y est de 8 000 unités C. G. S. par cm². Le système qui consiste à monter les induits à courant continu directement sur l'arbre du moteur entre les deux cylindres est considéré comme défectueux sur le continent ; on dispose souvent ainsi les inducteurs tournants des alternateurs, mais, en général, les dynamos à courant continu sont accouplées à l'une ou à chacune des extrémités de l'arbre.

Génératrices a courant alternatif. — On ne voyait rien d'intéressant en fait d'alternateurs monophasés à Paris ni à Berlin. Quant aux alternateurs polyphasés, l'auteur en a déjà décrit le type universellement adopté ; il indique maintenant quelques particularités par lesquelles se différencient ces machines. Les tôles de l'induit sont renfermées dans un bâti circulaire en fonte qui doit être assez solide pour résister aux déformations. On a adopté diverses dispositions en vue d'obtenir la stabilité maxima avec le poids minimum de matériaux [1].

Dans les alternateurs actuels, les segments de tôle de l'induit sont étroitement serrés ensemble entre deux fortes couronnes; les boulons de serrage, dans la plupart des cas, traversent entièrement les segments et permettent de les fixer dans la carcasse. Les couronnes, une fois solidement assujetties, sont maintenues par des vis passant à travers la carcasse. On n'isole plus les boulons qui traversent les tôles, les recherches de Fischer-Hinnen et de Boucherot ayant fait reconnaître que les pertes qu'on voulait éviter par cette précaution étaient négligeables. A la Compagnie Westinghouse, au lieu d'assembler les segments par des boulons, on les fixe à la carcasse par des clavettes à queue d'aronde. La Compagnie « Union », de Berlin, emploie le même système.

Les bobines induites des alternateurs sont aujourd'hui ou enroulées sur place dans des trous, ou enroulées sur calibre et placées dans des encoches ouvertes. Ces dernières ont l'avantage de pouvoir être remplacées promptement. Le plus petit nombre d'encoches ou de trous par pôle et par phase est deux, mais en général on distribue l'enroulement en autant d'encoches que possible, souvent trois ou quatre. La courbe de force électromotrice se rapproche ainsi de la forme sinusoïdale, ce qui est l'idéal pour tous les alternateurs. Dans les grandes machines de l'usine génératrice Moabit, à Berlin, où les conducteurs induits sont des barres, il y en a cinq par pôle et par phase. Le diamètre intérieur de l'induit est d'environ 7,20 m et la tension engendrée est 6 000 volts.

En ce qui concerne les pôles inducteurs, la pratique suivie sur le continent est à peu près la même qu'en Angleterre. Dans certaines machines, le pôle et l'épanouissement polaire sont formés d'un paquet de tôles consolidé par des rivets et fixé à la jante du volant par une queue d'aronde. En général, cependant, le pôle est en acier plein avec un épanouissement feuilleté em-

(1) MM. Brown-Boveri boulonnent de chaque côté d'une carcasse cylindrique une étoile de fonte dont le centre repose sur un anneau venu de fonte avec le palier et servant de coussinet. L'induit tout entier forme donc un volant porté par deux coussinets. Cette construction est très simple et permet, en faisant tourner l'induit sur ces coussinets, de visiter facilement les enroulements. MM. Lahmeyer, de Francfort, adaptent aussi des étoiles de fonte aux carcasses de leurs machines, mais ils ne les font pas reposer sur des coussinets ; la masse centrale de l'étoile est un anneau assez large pour laisser passer les porte-balais. Plusieurs constructeurs s'en tiennent aux carcasses en forme d'U allongé, dont ils jugent la stabilité suffisante. L'innovation la plus intéressante a été faite par l'A. E. G. : on supprime entièrement la carcasse de fonte et on la remplace par deux couronnes de fonte serrant entre elles les tôles de l'induit ; celles-ci présentent des projections radiales reliées par des tirants. L'ensemble forme un bâti de construction légère, assez solide pour supporter le poids de l'induit et assez stable pour résister aux déformations. Selon M. Dobrowolsky, on économise ainsi 20 p. 100 sur le poids des matériaux et 10 p. 100 sur le prix de la construction.

prisonné dans l'acier à la coulée. Certains constructeurs considèrent les pièces polaires feuilletées comme inutiles quand les enroulements induits sont logés dans des trous ou dans des encoches partiellement fermées, ils font donc les pôles et les pièces polaires en acier plein. L'auteur est d'un avis opposé : il croit que la perte de puissance à pleine charge est de 4 à 5 p. 100 plus grande avec des pièces polaires pleines qu'avec des pièces polaires feuilletées.

L'effet des amortisseurs est bien connu. Il est facile d'adapter ce perfectionnement aux pôles laminés en les perçant de trous très voisins de la surface polaire. C'est ce que fait l'A. E. G. pour tous ses alternateurs. Si les conditions dans lesquelles travaillent les machines font reconnaître l'utilité d'un amortisseur, on le construit en enfilant dans les trous des barres de cuivre qu'on réunit sur les côtés par des bagues métalliques. S'il n'y a pas besoin d'amortissement, les trous restent vides.

Les constructeurs anglais astreignent leurs machines à n'avoir qu'une très faible chute de tension entre la charge nulle et la pleine charge. Pour réaliser cette condition, à laquelle ils accordent trop d'importance, ils doivent employer un plus grand poids de matériaux que leurs concurrents du continent. Ceux-ci se contentent de limiter la chute de tension à 5 ou 6 p. 100 avec un facteur de puissance égal à 1, et à 30 ou 35 p. 100 avec un facteur de puissance nul.

Le coefficient de puissance a une valeur remarquablement fixe pour les alternateurs des principaux constructeurs du continent. Sa valeur moyenne pour les alternateurs triphasés est 0,015, l'induction dans l'entrefer étant de 7 500 à 8 000 unités C. G. S.

Transformateurs. — Comme les générateurs, les transformateurs tendent vers un type commun. La forme à noyau est la plus répandue en Angleterre; elle est universellement adoptée sur le continent. Dans le transformateur à noyau les bobines sont extérieures au fer, disposition favorable au refroidissement et aussi à la facilité des réparations, tandis que dans le transformateur à enveloppe les bobines sont entourées par le circuit magnétique. De plus, la chute de tension pour une charge inductive est beaucoup plus faible dans le transformateur à noyau.

Pour les distributions triphasées, on emploie en Amérique des transformateurs à une seule phase. Sur le continent européen, on donne la préférence aux transformateurs triphasés, moins lourds et moins coûteux, et qui ont l'avantage de mieux favoriser la régulation quand les phases sont inégalement chargées.

Moteurs d'induction. — Il y a peu de nouveautés à signaler dans la construction des moteurs asynchrones, si bien décrite par M. Eborale il y a deux ans. L'A. E. G. supprime, dans certains de ses moteurs, la carcasse extérieure de fonte ; l'auteur ne peut dire si la compagnie entend généraliser cette modification, comme elle l'a fait pour ses alternateurs.

Pour les enroulements du stator, la pratique américaine consiste à placer des bobines enroulées sur calibre dans des encoches ouvertes. Sur le continent, les bobines du stator sont toujours enroulées à la main dans des trous. La première méthode est avantageuse au point de vue de la facilité des réparations, mais la seconde vaut mieux au point de vue électrique : les enroulements à trous donnent un facteur de puissance et un rendement supérieurs, ils réduisent le poids et l'échauffement.

En Europe on adopte, pour les puissances supérieures à 5 chevaux, des rotors à enroulements et on se sert de résistances auxiliaires pour le démarrage. Aux Etats-Unis, au contraire, des moteurs de très grande puissance ont des rotors en cage d'écureuil, munis d'auto-transformateurs. Ils absorbent alors, pour démarrer à charge normale, un courant double du courant de travail, mais comme, dans bien des cas, on n'a pas besoin d'un couple de démarrage énergique, l'auteur croit qu'il n'y a pas lieu de limiter à une puissance définie l'emploi du rotor en court-circuit ; c'est d'après les conditions de fonctionnement du moteur qu'on devrait choisir entre le rotor en cage d'écureuil et le rotor à enroulements.

Conversion. — Pour la conversion des courants polyphasés en courant continu, on a le choix entre les commutatrices et les groupes moteur-génératrice. Les opinions sont très divisées sur les avantages relatifs de ces deux systèmes. La commutatrice jouit d'une grande faveur aux Etats-Unis, mais elle est beaucoup moins estimée en Europe. Selon Steinmetz, si cette machine peut fonctionner à la fréquence 60, elle ne donne toute satisfaction qu'à la fré-

quence 25, et beaucoup d'électriciens se rallient à son avis. Le moteur-génératrice, au contraire, se prête à une fréquence de 50, ce qui permet, dans une distribution de lumière et de force motrice, de fournir du courant continu s'il en est besoin et d'alimenter par le courant alternatif les lampes à incandescence et à arc et les alternomoteurs.

A la sous-station de la Mariannenstrasse, à Berlin, les membres de l'« Institution » ont pu voir des commutatrices de puissances comprises entre 550 et 1 250 chevaux, fonctionnant à la fréquence 50 ; leur marche était très régulière. Mais il ne s'ensuit pas que cette pratique soit recommandable : les difficultés qu'amène en général la commutatrice fonctionnant à cette fréquence sont bien connues, elles n'ont d'ailleurs rien d'étonnant, puisque la fréquence ordinaire des dynamos à courant continu est comprise entre 10 et 15. Pour les fréquences voisines de 50, le moteur-génératrice est bien préférable, c'est l'avis non seulement de Steinmetz, mais aussi de Dobrowolsky en Allemagne, de Brown en Suisse, et sans doute de tous ceux qui ont fait l'expérience de ces deux modes de conversion. Au point de vue du rendement et du prix, il n'y a que de faibles différences.

C'est d'ailleurs seulement dans des cas exceptionnels qu'on est obligé de recourir à la conversion. Elle est nécessaire pour les réseaux de tramways urbains, puisque nous n'avons pas encore d'alterno-moteurs convenant parfaitement à ce genre de service, mais elle est inutile pour les distributions mixtes de lumière et de force motrice, qui s'effectuent tout aussi bien par courants polyphasés.

P. L.

Section de Londres

Séance du 22 janvier 1903

Notes sur le système métrique des poids et mesures, par **Alexander Siemens.** *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, t. XXXII, p. 278-327. Mars 1903.

L'auteur rappelle que dès 1783 James Watt se préoccupait de faire adopter un système de poids basé sur le système décimal. Etant allé à Paris en 1786, il y fit la connaissance des principaux savants français d'alors, Lavoisier, Laplace, Monge, Berthollet, de Prony et d'autres. Sans doute il leur exposa son idée, qui fut peut-être ainsi l'origine de l'établissement du système métrique en France.

L'auteur rappelle les phases de cet établissement. L'Assemblée Constituante adopta le principe du système décimal en 1791. Une commission internationale adopta pour unité de longueur la dix-millionnième partie du quadrant terrestre et lui donna le nom de mètre. Le système métrique fut définitivement établi par une loi promulguée le 22 juin 1799. Mais Napoléon, n'étant pas partisan de ce changement, autorisa par une loi du 28 mai 1812 un système intermédiaire. Le système métrique pur ne fut mis en vigueur en France que le 1er janvier 1840. Il est obligatoire en Allemagne depuis le 1er janvier 1872.

En Angleterre, une Commission spéciale fut nommée en 1895 pour étudier la question. Elle conclut par les propositions suivantes :

a. Légaliser immédiatement le système métrique des poids et mesures pour tous les usages.

b. Rendre obligatoire l'emploi du système métrique après un délai de deux ans.

c. Enseigner dans toutes les écoles publiques élémentaires l'emploi du système métrique des poids et mesures.

L'Acte des Poids et Mesures, voté la même année par le Parlement, ne donna satisfaction qu'à la première de ces propositions. Le système métrique n'est pas encore obligatoire.

C'est la « British Association » qui a pris les seules mesures pratiques tendant à l'introduction du système métrique dans le Royaume-Uni. Une Commission formée par elle a étudié la détermination des dimensions des petites vis qu'on emploie dans les appareils de télégraphie, d'électricité et d'horlogerie. Après deux ans de délibération, elle recommanda l'adoption de la série suisse de petites vis, où l'épaisseur du filet commence à 1 mm et décroît de 10 p. 100 d'une taille à l'autre.

Aux Etats-Unis, un acte du Congrès, approuvé en 1866, autorise l'emploi des poids et mesures du système métrique. On propose de présenter, pendant la session actuelle, un projet de loi enjoignant à toutes les administrations d'Etat d'employer le système métrique à partir du 1er janvier 1904 et rendant ce système obligatoire dans toute l'étendue des Etats-Unis à partir du 1er janvier 1907.

Quant aux pays civilisés autres que l'Angleterre et les Etats-Unis, ils ont adopté le système

métrique en raison des relations simples qui existent entre ses unités et de la subdivision décimale des unités, qui s'accorde avec la notation arithmétique universellement employée.

Ces deux avantages, naturellement, n'appartiennent pas d'une façon exclusive au système métrique. Ainsi, sir John Herschel a proposé d'établir un système rival en prenant pour unité de longueur le rayon polaire de la terre. Cette longueur équivalait, d'après lui, à 500 500 000 pouces anglais, de sorte qu'en accroissant le pouce d'un millième, il serait devenu égal à la cinq cent millionnième partie du rayon polaire. D'autre part, si l'on accroissait le *grain* d'un dix-huitième, le poids d'un pied cube d'eau s'exprimerait par 1 000 onces.

Revenant au système métrique, l'auteur croit que son introduction en Angleterre ne susciterait aucun trouble. L'exemple des autres pays qui l'ont adopté montre qu'on obvie aisément aux difficultés de la transition en plaçant en évidence des tables de conversion dans tous les magasins et ateliers.

Il se trouve que les principaux changements qui intéressent le commerce au détail, c'est-à-dire le passage du *yard* au mètre et de la *livre* (anglaise) au demi-kilogramme, sont très simples. Le mètre est plus long que le *yard* d'un douzième environ ; la valeur par mètre est donc supérieure de 1 penny par shilling à la valeur par *yard*. La livre métrique est plus lourde d'un peu plus de 10 p. 100 que la *livre avoirdupois* anglaise ; la valeur du demi-kilo dépasse donc de 1,25 penny par shilling la valeur de la *livre avoirdupois*. Par conséquent, si l'acheteur ne se fie pas à la table de conversion, il peut calculer le prix de la marchandise comme s'il s'agissait de *yards* ou de *livres*, en ajoutant dans le premier cas 1 penny et dans le second 1,25 penny par shilling au résultat trouvé. La conversion ainsi opérée n'est pas rigoureusement exacte, mais l'erreur commise est moindre que les variations des prix du commerce en gros.

Malgré ces facilités, les nouveaux poids et mesures, tant qu'ils ne seront pas devenus familiers, paraîtront naturellement moins commodes que les anciens, mais il ne faudra pas longtemps au public pour reconnaître leur supériorité.

Une longue discussion a suivi cette communication.

Sir Frederick Bramwell combat énergiquement l'adoption du système métrique. Sa terminologie lui paraît défectueuse : on a donné des noms dérivés du latin aux sous-multiples, exemple : *décigramme*, et des noms dérivés du grec aux multiples, exemple : *décagramme*. Les gens de peu d'instruction auront peine à distinguer entre ces deux mots. Qu'on se figure, dit-il, citant un passage des débats du Parlement, une honnête ménagère demandant à son fournisseur un décigramme de poivre et un décagramme de thé ! Imaginez aussi la laitière vendant sa marchandise au litre ! (qu'a donc cette perspective de si effrayant ?). Sir Bramwell attaque ensuite le système décimal ; il lui reconnaît, il est vrai, des avantages dans certains cas, mais il ne veut pas qu'on soit obligé de s'en servir en toute occasion, parce que l'emplacement de la virgule cause de fréquentes erreurs et qu'il rend beaucoup plus compliquées toutes les opérations d'arithmétique sauf l'addition. Les poids et mesures anglais facilitent le calcul mental, ils permettent une foule de procédés abréviatifs (textuellement : chemins de traverse, *short cuts*) dont sir Bramwell cite quelques-uns. Exemple : un bloc de fer de 1 pied carré de surface et de 1/8 de pouce d'épaisseur pèse 5 livres. Une étendue d'eau d'un acre de superficie et d'un pouce de profondeur pèse 101 tonnes, etc.

M. Dowson répond qu'on ne se sert pas du décigramme dans les transactions commerciales ordinaires et que le terme décagramme n'est presque jamais employé. L'usage des décimales n'empêche d'ailleurs pas celui des autres fractions, 1/2, 1/4, etc., quand elles sont jugées plus commodes ; c'est bien aussi la pratique suivie dans les pays qui ont adopté le système métrique. Ce système a le grand avantage d'établir des relations simples entre les unités. Enfin l'unité de volume y est unique, tandis qu'en Angleterre c'est tantôt le gallon, tantôt le pied cube, parfois le pouce cube. Quant aux procédés mnémoniques dont sir Bramwell regretterait la disparition, M. Dowson fait observer qu'ils sont inutiles avec le système métrique. Comme l'a dit sir Henry Roscoe à ce propos : Nous n'avons pas besoin d'un chemin de traverse quand la route est directe.

Sir Andrew Noble parle aussi en faveur du système métrique. Il rappelle que le professeur Johnstone Stoney a proposé de mettre, en les

altérant légèrement, les mesures anglaises dans un rapport simple avec les mesures métriques. Le nouveau *yard* vaudrait exactement 9 dcm, le *pouce*, exactement 25 mm, le *mile*, 1 600 m, la *livre*, 450 gr. On conserverait l'ancienne nomenclature pendant un certain nombre d'années ou même définitivement si l'on voulait. Les inconvénients d'un changement radical seraient ainsi évités.

Lord Kelvin, dans une lettre adressée au Président, regrette de n'avoir pu entendre sir Bramwell. Il se serait efforcé de le convaincre que l'adoption universelle du système métrique français par les ingénieurs électriciens et autres et les personnes de bon sens du pays, dans tous les magasins, ateliers et usines, serait un grand bienfait, non seulement pour les sujets anglais de la métropole et des colonies, mais aussi pour le reste du monde.

M. Parker, qui a employé le système métrique pendant trente ans, déclare ses unités absolument défectueuses. Il propose de conserver le *pouce* comme unité de longueur et de prendre pour unité de poids le poids d'un pouce cube d'eau. Pour les multiples et sous-multiples, on emploierait à volonté le système décimal ou le système actuel.

Sir William Preece juge le système anglais exécrable. Il n'y a pas moins de 154 unités de longueur employées en Angleterre. Le système préconisé par M. Parker serait défectueux également : si l'on change d'unités, ce sont celles du système métrique qu'il faut adopter. Beaucoup de grands industriels d'Angleterre l'emploient déjà dans leurs usines, et les électriciens s'en servent exclusivement

Sir John Wolfe Barry et quelques autres critiquent à la fois les unités métriques et le système décimal.

Selon le colonel Crompton, les pays employant le système anglais ont immobilisé dans leur matériel de mesures beaucoup plus de capitaux que les pays qui ont adopté le système métrique. Si l'on doit faire un changement pour arriver à l'uniformité, c'est donc le système métrique qu'il y aurait lieu d'altérer : on ramènerait le millimètre à représenter exactement le 1/25 du *pouce*. Pour les filetages en particulier, le *pouce* divisé à l'échelle binaire est supérieur à n'importe quelle unité divisée en parties décimales. On s'aperçoit en pratique que la division décimale est incommode pour les vis-mères des tours à fileter. Aussi, même dans les pays où le système métrique est en usage, on se sert surtout des filets Whitworth, dont l'épaisseur est basée sur l'échelle binaire.

Selon le professeur Smith, les unités du système métrique n'ont pas de supériorité intrinsèque sur les autres. La véritable supériorité du système consiste en ceci : 1° que sa base est unique, 2° que cette base est 10. Ces avantages sont les seuls dont on ait besoin et les seuls d'ailleurs qu'on puisse concevoir. Il n'existe aucun autre système qui les possède.

Presque tous les orateurs qui se sont prononcés contre le système métrique ont attiré l'attention sur les mesures de coercition qu'il faudrait prendre pour le rendre obligatoire et sur les lourdes dépenses que cette mesure entraînerait. Ceux qui ont parlé en sa faveur ont fait remarquer que ces dépenses seraient compensées et au-delà par l'économie de travail résultant de la simplification des calculs et par la facilité plus grande des relations internationales.

M. Alexandre Siemens répond aux objections du colonel Crompton sur les filetages, il présente quatre vis, 2 fabriquées avec une vis-mère métrique (épaisseur du filet, 4 mm) et 2 fabriquées avec une vis-mère anglaise (épaisseur du filet 1/8 de pouce) ; il demande au colonel Crompton de les distinguer.

Il rappelle que toutes les commissions qui se sont occupées des filetages ont déclaré que les filets de deux constructeurs ne s'ajustent jamais s'ils n'ont pas été fabriqués d'après des filets étalons. Ainsi l'expression exacte de l'épaisseur du filet, par les unités métriques ou par d'autres, n'a pas d'importance, puisqu'il faut toujours recourir aux jauges et aux taraudages étalons.

P. L.

Section de Londres

Séance du 12 mars 1903

Les pertes dans les réseaux de distribution, par **A. D. Constable** et **E. Fawssett.** *Electrician*, t. L, p. 863, 903 et 935, 13, 20 et 27 mars 1903.

En général, 75 p. 100 seulement de l'énergie électrique produite par une station centrale sont rétribués ; 20 p. 100 se perdent, et le reste, soit 5 p. 100, est consommé à l'usine même. Les auteurs se proposent d'étudier la répartition des pertes et les moyens de les réduire. Les chiffres cités se rapportent à l'usine

génératrice de Croydon. (Puissance : 1 250 kilowatts ; débit annuel : 1 873 000 kilowatts-heure ; courant alternatif à 2 000 volts et 60 périodes).

Pertes dans les tableaux de distribution. — Elles sont dues à l'échauffement des pièces métalliques et des connexions ; leur valeur moyenne, d'après les mesures faites sur trois installations différentes, est comprise entre 0,3 et 0,4 p. 100 de l'énergie totale engendrée. Les pertes dans l'appareillage des sous-stations s'évaluent à 0,1 p. 100. Pour la distribution de Croydon, l'ensemble des pertes de ce genre se monte à 10 000 kilowatts-heure par an.

Dans le but de réduire cette dissipation inutile d'énergie : étudier avec soin la position du tableau par rapport aux génératrices ; adopter une construction simple ; n'installer que le nombre minimum d'appareils ; veiller au bon état des contacts ; éviter autant que possible d'intercaler des fusibles sur les feeders.

Pertes dans les câbles. — Ce sont les plus importantes et les plus difficiles à réduire. Elles sont de trois sortes :

1° Pertes par effet Joule dans le diélectrique.

2° Pertes par effet Joule dans les conducteurs.

3° Pertes dues à ce qu'on peut appeler l'hystérésis diélectrique.

Il n'y a pas lieu d'insister sur les premières : elles sont généralement très faibles dans les réseaux bien établis. A Croydon, elles se montent à 350 kilowatts-heure par an, soit 8,8 kilowatts-heure par kilomètre de câble à haute tension. Dans le réseau à basse tension, naturellement moins bien isolé, il se perd ainsi 700 kilowatts-heure par an.

Les pertes dues à l'effet Joule dans les conducteurs sont les plus importantes. La table ci-dessous en donne la répartition pour le réseau étudié:

Pertes par effet Joule dans les câbles.

Maximum de la puissance distribuée : 1 250 kilowatts.

NATURE DES CABLES	PERTES RI^2 en kilowatts par an.
Feeders principaux et secondaires à 2 000 volts. Longueur : environ 40 km. Section : 95 à 16 mm².	47 200
Distributeurs à 400 et à 200 volts. Longueur : environ 80 km. Section : 250 à 60 mm².	66 200
Câbles à haute tension pour lampes à arc.	11 400
Câbles à basse tension pour lampes à arc.	25 800
Total	150 600

Les pertes de ce genre représentent donc 9,2 p. 100 de l'énergie totale engendrée.

Les pertes par hystérésis diélectrique ont fait l'objet d'une discussion récente à l'Institution of Electrical Engineers. La question n'ayant pas été résolue, les auteurs ont voulu déterminer la valeur réelle de ces pertes sur le réseau chargé. Ce but n'a pu être tout à fait atteint, à cause de la grande difficulté des mesures. Les auteurs exposent cependant les résultats obtenus, qui prouvent du moins encore une fois que, contrairement à l'opinion ordinaire, le facteur de puissance d'un câble peut s'élever jusqu'à 0,1.

On a employé pour ces recherches les méthodes suivantes :

1° Mesure directe au wattmètre des watts dissipés dans le câble, tantôt sans, tantôt avec une bobine de self, destinée à accroître le facteur de puissance du câble.

2° Calcul des watts dissipés d'après les courbes du courant et de la force électromotrice, ou d'après les courbes enregistrées par un oscillographe.

3° Mesure directe de l'accroissement de puissance nécessaire pour entretenir le mouvement d'un alternateur, quand on met un câble en circuit.

En ce qui concerne la première méthode, il fallait d'abord contrôler l'exactitude des résultats donnés, à différents facteurs de puissance, par les wattmètres dont on disposait. Ces appareils étaient au nombre de trois : un wattmètre Swinburne et deux wattmètres Thomson, tous construits pour une tension de 250 volts. On réduisait la tension dans le rapport de 10 à 1 environ au moyen d'un rhéostat de lampes. On fit le calibrage des wattmètres à des facteurs de puissance d'environ 0, 03 et 0,35, le courant étant décalé en arrière, et de 0,14, le courant étant en avance sur la tension.

Ces expériences montrèrent que, pour un des deux wattmètres Thomson, la constante variait entre 6,6 et 10. Les deux autres instruments donnaient des indications assez concordantes, mais variant beaucoup avec les différents facteurs de puissance, probablement en raison de la diversité des courbes de voltage. On ne s'est servi que de ces deux derniers appareils.

La figure 1 montre le diagramme du montage pour les expériences faites sur le câble. On mettait généralement en série les deux wattmè-

tres, dont les indications se contrôlaient réciproquement, et l'on faisait les observations tantôt sans, tantôt avec la bobine de self C en dérivation sur le câble. Cette bobine était sans noyau et l'on avait déterminé très exactement son facteur de puissance. Au bas du diagramme, à droite, se voit le dispositif employé pour calibrer l'oscillographe : il permettait d'appliquer à cet appareil, sans changer les connexions, une tension continue de 130 volts, et l'on obtenait ainsi la valeur de la déviation en volts. On faisait de même passer un courant continu d'intensité connue à travers le shunt non inductif R et l'on obtenait la valeur de la déviation en ampères.

DESCRIPTION DES CABLES	VOLTAMPÈRES d'après l'ampère-mètre et le voltmètre.	WATTS d'après le wattmètre.	WATTS d'après l'oscillographe.	FACTEUR de puissance d'après le wattmètre.	FACTEUR de puissance d'après l'oscillographe.	OBSERVATIONS
Câble concentrique isolé au jute, avec armature de plomb, posé à même le sol.	1 474	30	...	0,020	»	Bobine de self en parallèle.
	1 710	49	...	0,029	»	Câble seul.
	1 520	25	...	0,017	»	Bobine de self en parallèle.
Câble concentrique isolé au bitume vulcanisé (vulcanised bitumen), posé dans un caniveau en fonte, établi pour 5 000 volts fonctionnant à 2 000.	6 250	635	»	0,098	...	» »
	7 230	830	»	0,112	...	» »
	6 890	865	610	0,126	0,090	» »
	7 600	854	...	0,112	...	Câble seul.
	7 110	923	835	0,130	0,110	»
Câble concentrique isolé au jute, recouvert de bitume vulcanisé, posé dans un caniveau de bois.	2 205	58	76	0,023	0,033	»
	2 230	66	...	0,030	...	»
	2 090	33	...	0,025	...	Bobine de self en parallèle.
Câble concentrique isolé au papier, recouvert de bitume vulcanisé, posé dans un caniveau de fonte. Etabli pour 5 000 volts, fonctionnant à 2 000.	1 535	112	...	0,073	...	Câble seul.
	1 380	33	...	0,024	...	Bobine de self en parallèle.
Câble concentrique isolé au papier, recouvert de bitume vulcanisé, posé dans un caniveau de fonte. Etabli pour 5 000 volts. Tensions appliquées : 4 920 — 4 175 — 1 686 5 700 — 4 000 — 2 480 volts,	18 740	...	237	...	0,0127	L'oscillographe n'était pas calibré. Les watts ont été déterminés d'après les courbes et les valeurs efficaces du courant et de la tension.
	13 530	...	237	...	0,0175	
	1 920	...	20,3	...	0,0106	
	25 650	...	2 130	...	0,083	
	12 000	...	965	...	0,080	
	3 970	...	309	...	0,078	

On a admis dans toutes ces mesures que les rhéostats de lampes étaient non inductifs, car aucune différence de phase entre le courant et la tension appliquée aux bornes de ces appareils n'a pu être observée avec l'oscillographe.

On voit que dans les trois cas où les watts ont été déterminés à la fois d'après les courbes de l'oscillographe et par les indications du wattmètre, les deux valeurs sont bien du même ordre mais ne concordent pas aussi bien qu'on pourrait le souhaiter. Ceci s'explique en partie par la forme des ondes ; la courbe E, par exemple (fig. 2) présente des pointes très aiguës qui rendent impossible le calcul exact des watts. Des enregistrements photographiques auraient donné plus d'exactitude, mais ces courbes ont été tracées à la main, et, pour celles qui affectent cette forme, le facteur de puissance ne peut être calculé que d'une façon très incertaine. La courbe D, au contraire, a

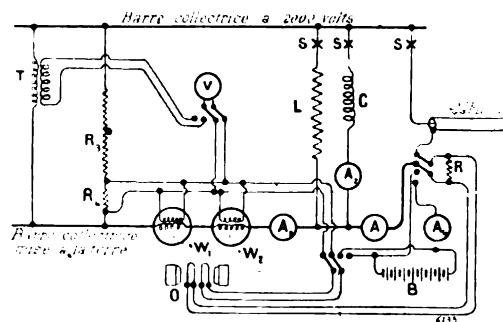


Fig. 1.

permis de faire des déterminations assez exactes. (La figure 2 n'indique que quelques-unes des courbes reproduites dans l'original).

On remarquera encore de très grandes discordances entre les observations faites sur un même câble et aussi entre les résultats obtenus avec et sans la bobine de self en parallèle. Certaines des différences peuvent être dues à l'effet de la variation de la forme d'onde : 1° sur les pertes; 2° sur les indications des instruments. On n'a pas pu prouver définitivement si le facteur de puissance d'un câble est modifié ou non par la variation de l'onde de la tension appliquée.

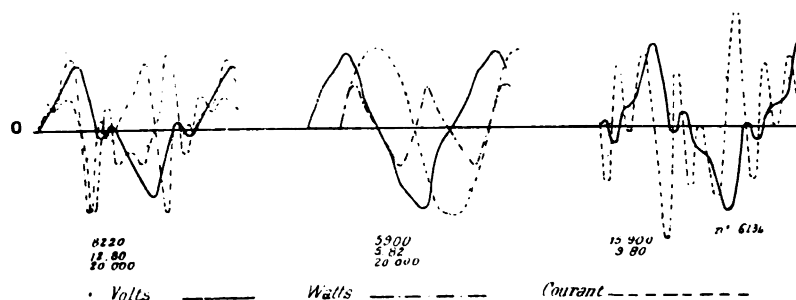


Fig. 2.

On a cherché à contrôler les résultats des précédentes expériences par la méthode du moteur-génératrice. L'alternateur était mis en mouvement par un moteur à courant continu et l'on mesurait par une méthode différentielle très sensible le courant absorbé par celui-ci.

On a étudié enfin la diminution que subit, dans diverses conditions, l'énergie absorbée par l'excitation. Les résultats montrent que l'économie réalisée de ce chef est tout à fait comparable aux pertes causées par l'hystérésis diélectrique. Dans le tableau d'ensemble, on a cependant compris les pertes de cette origine, l'énergie nécessaire à l'excitation n'étant pas considérée dans ce mémoire.

En résumé, il paraît hors de doute que le facteur de puissance du câble isolé au bitume vulcanisé est de l'ordre de 0,12, celui des câbles isolés au jute, environ 0,025 et ceux des câbles isolés en papier, 0, 032 pour l'un et 0,08 pour l'autre. Ces résultats concordent fort bien avec ce qui a été dit dans la discussion qui a suivi la communication de M. Mordey. Le câble isolé au bitume vulcanisé paraît être exceptionnellement mauvais au point de vue de l'hystérésis diélectrique.

D'après les chiffres rapportés plus haut, la perte hystérétique totale dans le réseau de Croydon se monte à 17 000 kilowatts-heure par an. Elle n'est pas assez grande pour justifier le découplage d'une partie des feeders pendant la période de faible charge, ce procédé entraînant certains risques.

Pertes dans les transformateurs. — Elles sont plus importantes que les pertes dans le diélectrique des câbles. A Croydon, les transformateurs sont placés dans 26 sous-stations disséminées dans toute la région ; ils sont au nombre de 56 : 2 de 100 kilowatts, 19 de 50 kilowatts, 26 de 20 kilowatts, 3 de 27 kilowatts et 6 de plus faibles dimensions, représentant ensemble 1790 kilowatts. On réduit ces pertes autant que possible en faisant découpler tous les transformateurs dont le fonctionnement n'est pas nécessaire par un employé qui fait des rondes fréquentes dans les sous-stations.

Pertes dans les transformateurs.

Puissance maxima distribuée	1 250 kw.
Puissance maxima des transformateurs en fonctionnement	1 790 »
Puissance minima des transformateurs en fonctionnement	920 »
a. Pertes totales pendant la période de forte charge	88 800 hw. p. an
b. Pertes totales pendant la période de faible charge	31 200 »
c. Pertes totales pendant le jour	53 200 »
Pertes totales par an	173 200 kw.-h.

Si tous les transformateurs restaient en circuit continuellement, il faudrait compter 40 000 kilowatts-heure de plus pour la perte par hystérésis dans les noyaux. Comme il faut, de toute façon, que les sous-stations soient visitées par un employé, la méthode d'exploitation adoptée fait donc réaliser une économie considérable.

Les chiffres donnés dans la table sont ceux des pertes moyennes en fonctionnement normal. Cependant, pour un des transformateurs de 100 kilowatts, la perte dans le fer était de 979 watts au minimum et de 1 078 watts au maximum, les courbes de la tension et du courant présentant des pointes assez aiguës à l'époque du minimum. Cette différence étant considérable, on étudia les variations de forme d'onde qui se produisent, dans l'exploitation ordinaire, pen-

dant les vingt-quatre heures. Les courbes furent tracées par un oscillographe Duddell; elles vérifièrent un fait dont on ne se rend pas toujours bien compte : c'est que la forme de l'onde engendrée par un alternateur quelconque dépend presque autant de la nature de la charge que de la construction de la machine.

Pertes dans les compteurs. — Il y a 1 200 compteurs en fonctionnement dans la distribution considérée, et un nombre égal d'indicateurs de demande maxima de Wright. Environ 1 000 de ces appareils sont des compteurs Thomson, les autres sont des compteurs Westinghouse. Les pertes dans les shunts, étant continuelles, sont de beaucoup les plus fortes; elles se montent à 37 400 kilowatts-heure par an. Les pertes dans les enroulements en série ne sont que de 1 350 kilowatts-heure par an, pour les compteurs et les indicateurs Wright réunis.

Il est évident qu'on réaliserait une forte économie en supprimant les shunts, c'est-à-dire en employant des ampère-heure-mètres. La seule difficulté est la variation de la tension chez l'abonné. Mais dans la plupart des cas, cette variation ne dépasse pas la limite d'inexactitude qu'on tolère dans les compteurs.

Résumé et conclusion. — On a jusqu'ici énuméré les pertes sans les rapporter au débit total de l'usine. Dans le tableau ci-dessous, les pertes sont totalisées et exprimées en tantièmes de l'énergie totale engendrée et de l'énergie vendue.

On voit d'après cette table que les pertes calculées s'élèvent à 22 p. 100 de l'énergie sortant de l'usine. En totalisant les indications des compteurs d'abonnés, on trouve, pour la proportion des pertes, 18,4 p. 100 seulement. Cette différence vient en partie d'une évaluation trop large de quelques-unes des pertes, en partie de l'inexactitude des compteurs.

L'étude qu'on vient de faire se rapporte au

ENSEMBLE DES PERTES	PERTES ANNUELLES		TAUX P. 100 de l'énergie engendrée.	TAUX P. 100 de l'énergie distribuée.
Pertes dans les tableaux et les connexions		10,000	0,51	0,54
Pertes dans les câbles :				
Câbles à haute tension — Fuites et hystérésis diélectrique	16,400			
Câbles à haute tension — Effet Joule	47,200			
Câbles à basse tension — Fuites et hystérésis diélectrique	2,000			
Câbles à basse tension — Effet Joule	66,200			
Pertes par effet Joule dans les câbles à haute et à basse tension pour lampes à arc	37,200			
Pertes totales dans les câbles		169,000	8,7	9,2
Pertes dans les transformateurs :				
Pertes dans le fer	109,500			
Pertes dans le cuivre	63,700			
Pertes totales dans les transformateurs		173,200	8,9	9,4
Pertes dans les compteurs :				
Pertes dans l'enroulement série	1,750			
Pertes dans le shunt	51,500			
Pertes totales dans les compteurs		53,250	2:7	2,9
Pertes totales		405,450	20,8	22,0
Taux pour cent de l'énergie sortant de l'usine		22		
Energie engendrée		1,948,000	100	
Energie sortant de l'usine		1,837,000	94,4	100
Energie vendue (*a*)		1,431,550	73,4	78,0
Energie vendue (*b*). Total des indications des compteurs		1,502,000	77,0	81,7
Proportion de l'énergie vendue à l'énergie engendrée		73,4 (*a*) 77,0 (*b*)		

réseau de Croydon, mais les idées qui y sont présentées s'appliquent d'une façon générale à toute distribution à courant alternatif ou continu. Toutefois, dans les réseaux de tramways ou de distribution d'énergie en grand, où les conditions d'exploitation sont différentes, les pertes sont autrement réparties : la période de faible charge étant beaucoup plus courte, c'est l'effet Joule dans les conducteurs qui cause presque toute la dissipation d'énergie. Il faudra donc pour s'assurer la plus grande économie d'exploitation possible, immobiliser beaucoup plus de cuivre dans les réseaux de ce genre. P. L.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 13 Juin 1903. 10e Année. — N° 24

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

GALVANOMÈTRE ENREGISTREUR UNIVERSEL

ET CONTACT TOURNANT J. CARPENTIER

M. Carpentier a présenté, à l'Académie des Sciences (20 avril 1903) et à la séance de Pâques de la Société de Physique, deux appareils qui présentent un certain nombre de détails intéressants.

Le galvanomètre enregistreur universel est un instrument destiné à l'enregistrement de la variation d'un courant en fonction d'un *phénomène quelconque :* temps, courant, angle de phase, etc. Le galvanomètre proprement dit est du type Deprez d'Arsonval, à pivots et à ressorts, mais il diffère des systèmes déjà connus en ce que tout le système mobile est porté par le cylindre de fer central, dont on voit l'extrémité en haut de la figure 1 ; grâce à cette disposition, il suffit de faire tourner ce cylindre sur son axe, pour changer l'orientation du cadre mobile ; on peut ainsi prendre, comme zéro, un point quelconque de l'échelle, ce qui fait que l'instrument se prête aussi bien à l'enregistrement des courants dont le signe varie qu'à celui des courants à direction constante. Les pivots sur lesquels repose le cadre mobile sont placés à l'intérieur de ce cadre et les agates sont fixées au cylindre de fer. Les ressorts sont également placés à l'intérieur du cadre et ils s'attachent par un bout à celui-ci et, par l'autre bout, à des plots isolés fixés au cylindre de fer. Un bouton moleté amovible — le même qui sert à l'embrayage du papier et que l'on voit en bas et à droite de la figure 1 — sert à faire tourner le cylindre de fer pour l'orienter convenablement. La partie avant du cadre mobile porte un index qui se déplace devant un cadran divisé ; un second index est fixé en arrière du cadre, tout près de la partie postérieure de l'instrument, il porte la plume de l'enregistreur.

Le point le plus caractéristique de ce nouvel enregistreur, c'est que le papier, au lieu

d'être enroulé sur un tambour, à la manière ordinaire, est complètement droit, il glisse dans une rainure pratiquée à la partie supérieure de la boîte et il descend ainsi contre la paroi postérieure, jusqu'au bas de la boîte où il traverse une autre rainure semblable à la première. De cette façon la manipulation est réduite à son minimum, elle consiste simplement à introduire la feuille de papier dans la fente supérieure, comme on met une lettre à la poste ; en outre, la feuille de papier n'est pas exposée à recevoir plusieurs tracés, si on oublie de la changer au moment voulu.

L'avancement du papier est commandé électriquement : un axe horizontal — celui qui, dans la figure, est terminé à droite par le bouton moleté extérieur à la boîte — porte deux petites roues à denture fine ; ces roues mordent le papier, qui est poussé contre elles par deux ressorts placés derrière, et elles l'entraînent avec elles quand elles tournent. Le même axe porte, à gauche, un rouage actionné par un cliquet, qui est lui-même commandé par l'armature d'un petit électro-aimant plat. Chaque fois qu'un courant traverse l'électro, celui-ci fait avancer le rouage, et les choses sont ainsi réglées, qu'à chaque émission de courant dans l'électro le papier avance d'un dixième de millimètre. Le bouton moleté de droite sert à faire avancer le papier à la main, soit pour le mettre en prise, soit, au contraire, pour le faire sortir rapidement de l'appareil. Si les émissions de courant dans l'électro sont réglées par une horloge, l'enregistrement se fait en fonction du temps et à la vitesse déterminée par le nombre de contacts ; s'il s'agit d'un phénomène intermittent, il est possible, en ouvrant et en fermant le circuit de l'électro aux moments convenables, de limiter le tracé aux seules périodes intéressantes.

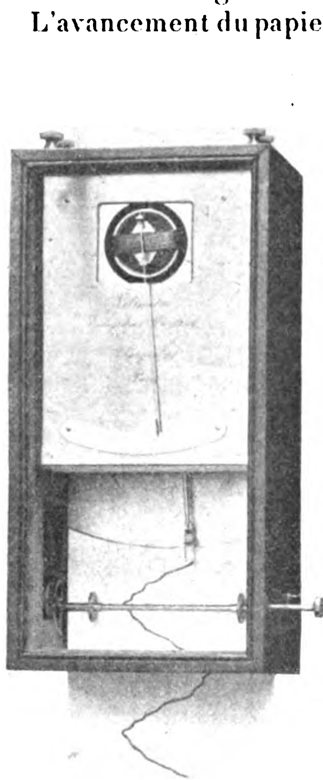


Fig. 1. — Enregistreur universel.

Les émissions de courant dans l'électro peuvent aussi être réglées par un autre phénomène, il suffit que celui-ci se prête à la fermeture momentanée d'un circuit chaque fois qu'il subit une variation déterminée ; nous verrons une application de ce genre avec le contact tournant.

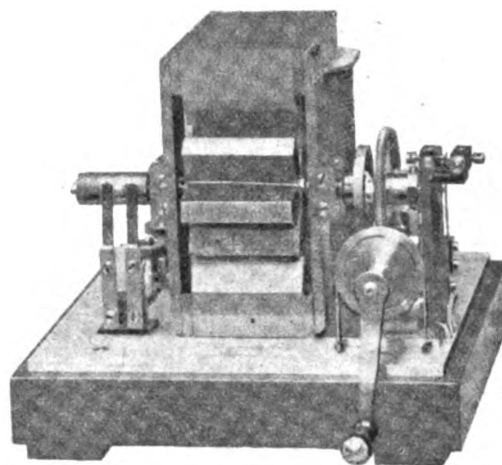
La plume est triangulaire, comme la plume bien connue de Richard ; elle est fixée au bout de l'index par une charnière qui lui permet de suivre toutes les ondulations du papier. Une petite lame de cuivre horizontale forme contrepoids à la plume et sert à l'appliquer à pression constante sur le papier, malgré les irrégularités de la surface de ce dernier. Le contrepoids est disposé de façon à être saisi à la main ou avec des presselles, ce qui facilite la mise en place et la sortie de la plume.

La sensibilité de cet instrument est de l'ordre de celle des voltmètres à cadre mobile ; on peut, par exemple, obtenir la déviation totale, d'un bout à l'autre de l'échelle, avec 1 volt, la résistance du cadre mobile étant de 100 ohms environ.

Les oscillographes ont montré l'extrême variété des formes des courants alternatifs, et l'on comprend, aujourd'hui beaucoup mieux qu'autrefois, l'intérêt qu'il y a à connaître ces formes ; de là le développement qu'a repris la méthode de M. Joubert dans ces derniers temps ; l'ondographe de M. Hospitalier a contribué pour beaucoup à cette renaissance et il faut reconnaître que, toutes les fois qu'il s'agit d'un courant rigoureusement périodique, sans trop de perturbations, accidentelles ou très rapides, cette méthode est équivalente à

celle des oscillographes ; au contraire, dès que les perturbations sont importantes, comme cela arrive assez souvent, les oscillographes sont préférables.

La méthode de M. Joubert peut être appliquée avec un galvanomètre quelconque et un contact tournant, pourvu que celui-ci permette de repérer la position du point de contact, par rapport à la phase du courant étudié ; avec cette disposition, il faut faire les lectures du galvanomètre pour un certain nombre de points convenablement répartis dans une période complète. Dans l'ondographe et les appareils tels que celui de Franck, l'inscription se fait automatiquement, le papier d'un enregistreur étant commandé par l'organe qui déplace le point de contact. On ne relève pas constamment des courbes de courants périodiques et, lorsque cela arrive, on peut fréquemment se contenter de les relever au moyen d'un voltmètre à lecture directe ; c'est en partant de cette considération que M. Carpentier a construit le contact tournant représenté figures 2 et 3 ; la séparation de l'enregistreur et du contact permet de se servir des deux appareils indépendamment l'un de l'autre et leur champ d'action se trouve ainsi singulièrement accru.


Fig. 2. — Contact tournant.

Le contact tournant est commandé par un petit moteur synchrone, alimenté par le courant étudié lui-même. Ce moteur est composé d'une étoile en fer, à six branches, placée entre les pôles d'un électro-aimant feuilleté. L'arbre du moteur porte, à son extrémité droite, une came en acier munie de trois bosses, — une de ces bosses est représentée sur le schéma, figure 3, — l'autre extrémité porte un petit commutateur de démarrage ; quand la vitesse du synchronisme est atteinte, ce qui est presque instantané, il suffit de mettre ce commutateur en court-circuit pour que le moteur continue à tourner.

Contrairement aux contacts tournants habituels, il n'y a pas de contact par frottement : les bosses de la came agissent sur des leviers qui actionnent une sorte de clef de Sabine, de dimensions restreintes ; on évite par là les défauts de contact qui résultent de la corrosion du métal par les étincelles et des vibrations des balais. Le mécanisme de cette clef est représenté schématiquement par la figure 3 : un doigt en acier D frotte sur la came, il commande une tige T par l'intermédiaire d'un axe et d'un levier L ; la tige T est placée dans le prolongement de l'axe de rotation de la came C, au centre de la roue M. L'extrémité libre de la tige T appuie constamment sur le ressort R, et celui-ci oscille entre les vis de contact $V_1 V_2$; l'ensemble du ressort R et des vis $V_1 V_2$ représente bien la partie essentielle d'un clef de Sabine. Tant que le doigt D se trouve en face d'une bosse de la came, le ressort R est appliqué contre V_2, au contraire, dès que le doigt tombe dans un creux, le ressort R repousse la tige et vient s'appuyer sur V_1. Si les connexions sont disposées selon le schéma habituel, le condensateur K se charge tant que le doigt D est dans un creux de la came ; il se décharge pendant le reste du temps.

Les bosses de la came étant invariablement calées par rapport à l'étoile induite du moteur, la rupture du contact V_1R se fait toujours au même moment de la période, tant que la position du doigt D ne change pas, il en résulte que le galvanomètre G reçoit des

décharges successives toujours égales et qu'il prend une déviation proportionnelle à l'intensité *moyenne* qui le traverse.

La roue M porte à sa circonférence une denture hélicoïdale qui engrène avec une vis sans fin que l'on commande au moyen de la petite manivelle placée en avant, il est donc possible de déplacer le doigt D par rapport à la période du courant étudié, ce qui permet d'explorer la période complète. La roue M est graduée et un index est placé devant la division, de sorte qu'en relevant les indications du galvanomètre G, pour un certain nombre de positions du doigt D, on peut tracer la courbe complète.

Ce contact tournant peut être relié au galvanomètre enregistreur ci-dessus, de façon à rendre l'enregistrement automatique. A cet effet, l'axe de la vis sans fin est terminé, à l'opposé de la manivelle, par une roue de contact à 10 dents. En intercalant cette roue dans un circuit comprenant une pile locale et l'électro de l'enregistreur, on obtient, à chaque tour de la manivelle, 10 émissions de courant, par suite le papier de l'enregistreur avance de 1 mm; pendant le même temps, le galvanomètre enregistre les valeurs du courant étudié qui correspondent aux positions successives du doigt D.

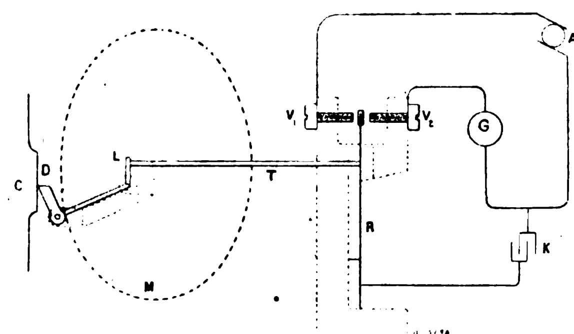


Fig. 3. — Schéma du contact tournant.

Dans cette disposition il y a indépendance absolue entre l'avance du papier et la fréquence du courant alternatif étudié; il est possible de s'arrêter en un point quelconque de la courbe, le papier s'arrête et le galvanomètre reste sur l'indication correspondante, cela permet de manœuvrer l'instrument de façon à obtenir des résultats aussi bons que possible : partout où l'on voit la courbe du courant étudié varier lentement et régulièrement, on peut tourner la manivelle assez vite; au contraire, là où les variations sont plus rapides et où l'on peut craindre que l'inertie du galvanomètre l'empêche de suivre correctement le courant, il est facile de réduire la vitesse autant qu'il est nécessaire.

Lorsqu'il s'agit d'obtenir plusieurs courbes, par exemple, différence de potentiel et intensité, avec leur différence de phase, il suffit de tracer un repère sur le papier au moment où la roue divisée M a son zéro en face de l'index; la première courbe étant tracée, on ramène le zéro de M devant l'index et on replace le papier dans l'enregistreur en mettant le repère sous la plume.

On voit que cette disposition assure bien l'indépendance des deux instruments, de sorte qu'ils peuvent servir à d'autres usages : le galvanomètre peut enregistrer des courants quelconques et le contact tournant est susceptible d'être utilisé pour la mesure de l'ordonnée maximum de la courbe ou pour mesurer la différence de phase entre deux courants en notant la position du doigt pour les valeurs nulles de chacun de ces courants.

H. Armagnat.

INSTRUMENTS « WESTON » A LECTURE DIRECTE

POUR COURANTS CONTINU ET ALTERNATIF [1]

I. Généralités. — 1. *Courant continu.* — Les instruments pour courant continu dérivent tous du galvanomètre Desprez-d'Arsonval dont le principe a été appliqué, pour la première fois, par Weston aux appareils portatifs et industriels. La bobine mobile (fig. 1) se déplace dans le champ magnétique uniforme créé par un aimant entre un cylindre et deux armatures cylindriques concentriques. L'aimant en C ou en fer à cheval est très long par rapport à sa section [2]. La bobine, enroulée sur une carcasse d'aluminium qui assure l'amortissement des oscillations, est portée par des pivots qui reposent sur des chapes en saphir ; des ressorts spiraux *en métal non magnétique* dirigent le cadre et donnent accès au courant. Un index effilé, solidaire du cadre, pointe les indications sur un cadran gradué qui permet d'éviter l'erreur de parallaxe. Les déviations sont sensiblement proportionnelles aux courants dans un angle d'environ 70°.

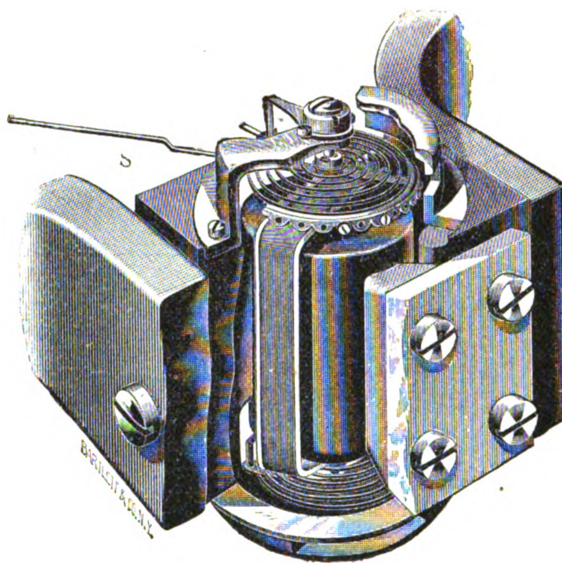


Fig. 1. — Vue intérieure d'un appareil Weston.

L'expérience acquise avec les années a permis d'introduire un certain nombre de perfectionnements dans la construction des pièces et dans la préparation des matières premières [3]. L'entrefer a été réduit considérablement. La « Westonine » qui constitue les résistances a une composition telle qu'elle est indépendante des variations de température. Aussi les nouveaux appareils se distinguent-ils par leur constance, leur exactitude et leur apériodicité.

1. — Les ressorts, de construction spéciale, sont constitués par un alliage qui joint à une grande élasticité une haute conductibilité électrique, propriété que n'a pas le bronze phosphoreux ordinairement employé dans les imitations des appareils Weston. Cette qualité de l'alliage est surtout importante pour les millivoltmètres, où le ressort forme une partie notable de la résistance totale de l'équipage mobile ; elle atteint au plus 0,2 ohm pour une bobine de 0,8 ohm.

2. — Les échelles divisées ne sont pas confectionnées en série par simple impression ; chacune d'elles est l'objet d'un étalonnage effectif de 5 en 5 divisions et cela jusqu'aux limites extrêmes de la graduation. Une fois terminée, l'échelle est fixée à une plaque de

---

(1) Les clichés qui illustrent cet article nous ont été obligeamment prêtés par M. H. Cadiot, 12, rue Saint-Georges, Paris.

(2) H. Armagnat. Instruments et Méthodes de mesures industrielles, 2e édition, p. 312. C. Naud, éditeur, 3, rue Racine.

(3) H. Armagnat. Appareils de mesure (Analyse des brevets), *L'Éclairage Électrique*, t. XVII, p. 386, 3 décembre 1898 ; t. XXII, p. 371 et 375, 10 mars 1900.

laiton nickelée et polie ; une échancrure circulaire laisse à découvert une partie de la plaque dont la surface polie joue le rôle de miroir ; on fait les lectures en amenant l'index en coïncidence avec son image, ce qui permet d'éviter les erreurs de parallaxe. Ce dispositif nouveau constitue un réel perfectionnement sur la glace en verre des anciens appareils qui pouvait facilement se briser et endommager le mécanisme si délicat du cadre mobile.

3. — C'est certainement le cadre qui a subi le plus de modifications ; les constructeurs se sont, en effet, efforcés de réaliser un appareil qui fût léger tout en présentant une grande résistance mécanique. Comme nous l'avons dit plus haut, la carcasse est en aluminium d'environ 0,2 mm d'épaisseur. Elle est travaillée sur mandrin cylindrique où on lui donne exactement la courbure du noyau central et des pièces polaires entre lesquels elle

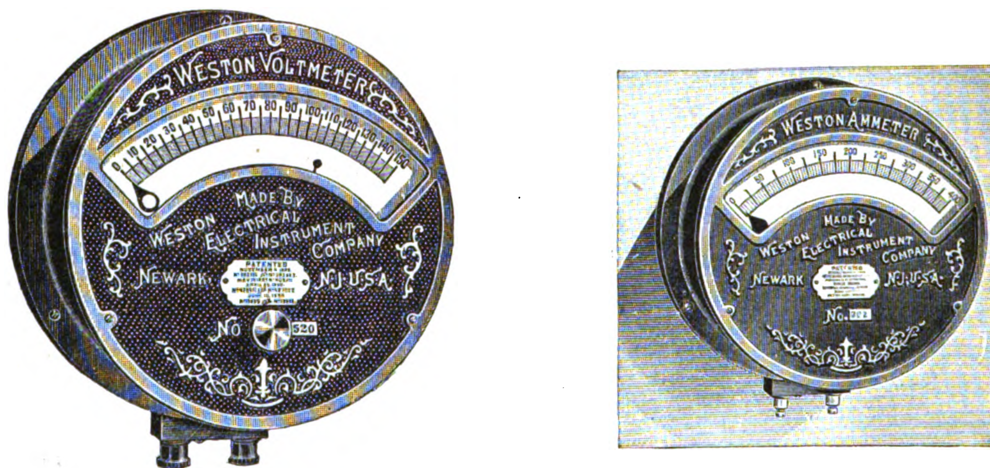


Fig. 2 et 3. — Voltmètre et ampèremètre type F en forme de boîte ronde pour tableau.

doit tourner. Les bords sont ensuite légèrement relevés des deux côtés de façon à former un bourrelet qui donne une grande rigidité à l'ensemble et en même temps maintient le bobinage. Une légère couche de vernis spécial assure l'isolement entre le fil et la carcasse métallique.

L'enroulement des voltmètres se compose de fils de cuivre isolés à la soie de 0,05 mm de diamètre ; sa résistance est de 60 ohms. Pour les millivoltmètres, les fils ont 0,15 mm de diamètre et sont encore isolés à la soie ; mais l'enroulement comprend plusieurs bobines connectées en parallèles, de sorte que sa résistance tombe à 0,5 ohm. Les côtés supérieur et inférieur du cadre reçoivent des porte-pivots en aluminium ; aux porte-pivots sont fixés les ressorts et deux pièces de cuivre dont les bouts sont soudés, d'une part, aux ressorts, d'autre part, aux extrémités de la bobine. La soudure remplace très avantageusement les pinces et les vis des anciens modèles, principalement dans les millivoltmètres, à cause de l'incertitude qui règne toujours sur la grandeur de la résistance de contact. Les pivots sont des tiges d'acier polies qui sont taillés à un angle d'à peu près 60° ; on peut les remplacer sans enlever le cadre.

On adapte l'index, léger et solide, à un côté du cadre ; il est aussi en aluminium et forme un tube de 0,1 mm d'épaisseur ; on arrive ainsi à construire des équipages mobiles qui, dans les voltmètres transportables, ne pèsent pas plus de 1,5 gr, ressort et index compris. Or ce poids, pour les instruments d'autres maisons, atteint facilement 3 et même 8 gr. Dans quelques constructions d'autres maisons, les pivots sont constitués par un axe unique

qui traverse le cadre de part en part ; cet axe introduit une surcharge considérable ; en outre, sa rigidité enlève aux pivots toute l'élasticité qui leur permettrait d'amortir l'effet des chocs violents. Ce n'est pas le cas des appareils Weston où l'équipage mobile, sous sa forme délicate, possède une élasticité telle qu'on peut le laisser tomber d'une hauteur assez grande sur le plancher sans émousser les pointes des pivots.

4. — On donne aujourd'hui à l'entrefer à peu près 1 mm ; comme l'épaisseur du cadre tout équipé est de 0,3 à 0,4 mm, on voit qu'il reste, de chaque côté, un jeu de 0,3 mm. On juge par là du soin qu'il faut apporter au centrage de l'équipage ; mais ces difficultés sont largement compensées par la constance merveilleuse que cet étroit entrefer assure aux instruments qui jouissent d'une grande sensibilité, malgré l'emploi de champs intenses obtenus avec des aimants en acier de première qualité. Ils peuvent, en effet, déceler des champs de l'ordre de grandeur du champ terrestre. On apprécie facilement une déviation correspondant à 0,1 ou 0,2 de division d'une échelle à 150 divisions ; aussi un courant de 50 ampères, approché très près des pôles, produit-il un déplacement considérable de l'aiguille. C'est pourquoi la Société Weston a créé un type spécial d'appareils de tableaux blindés destinés à être placés dans le voisinage de dynamos ou de grandes masses de fer comme on en rencontre dans les usines génératrices ou à bord des navires. L'écran consiste en une enveloppe de fonte complètement fermée, sauf une échancrure strictement nécessaire pour faire les lectures. Les constructeurs européens, au contraire, se contentent d'enfermer leur cadre dans un mince boîtier en laiton fermé en avant par une glace ; en autres inconvénients de ce mode de construction, nous signalerons la difficulté de relier les câbles au tableau de distribution de façon que le courant qui les traverse n'influence pas les appareils de mesure. Il n'y a aucune précaution à prendre avec les appareils Weston.

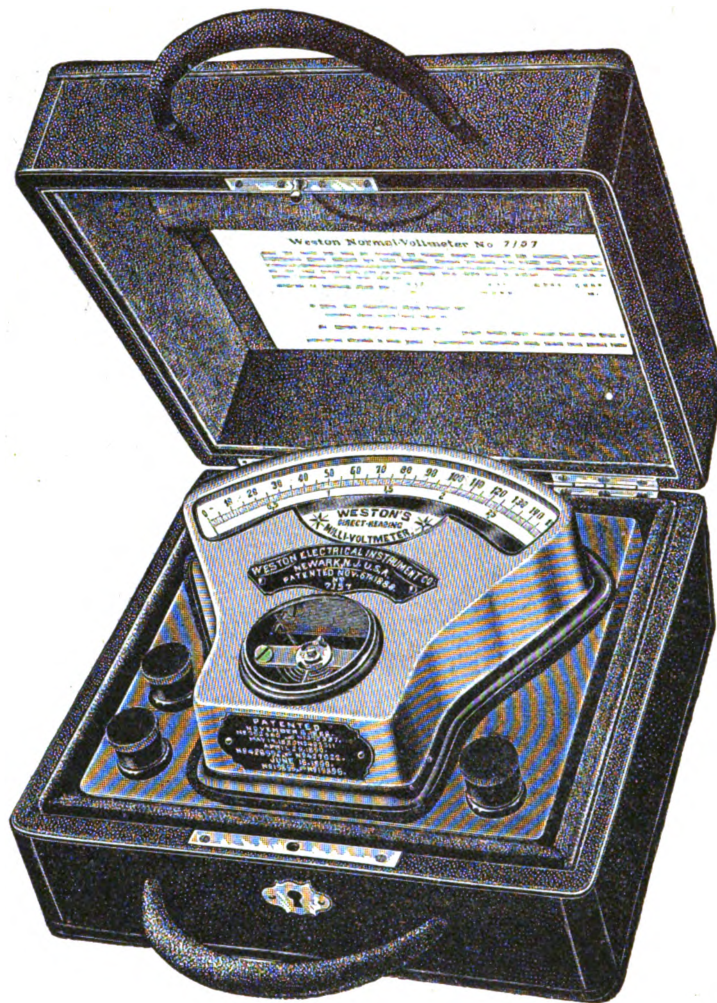


Fig. 4. — Voltmètre étalon type A avec boite portative (1/2 grandeur naturelle).

Avant de terminer ces généralités, il nous semble intéressant de consacrer quelques lignes à un type de millivoltmètre qui, en combinaison avec un shunt, peut être employé comme ampèremètre. Au point de vue historique, nous rappellerons d'abord que, il y a

dix ans, on avait cherché à utiliser le manganin, invention de M. Weston (1884), pour constituer l'enroulement de l'équipage mobile ; mais on s'aperçut bien vite qu'il fallait donner au fil une section relativement grande pour abaisser la résistance de l'équipage à une valeur admissible ; celui-ci devenait alors trop lourd et les entrefers prenaient des proportions incompatibles avec une bonne construction. On est donc revenu aujourd'hui au cuivre en torons formés de fils très fins. Grâce à cet artifice, l'entrefer conserve sa valeur normale de



Fig. 5. — Voltmètre étalon pour laboratoires avec résistances additionnelles à décades, élément normal Weston sans coefficient de température et petit galvanomètre transportable.

1 mm et la résistance ne dépasse pas 0,5 ohm. Pour donner une idée de la sensibilité qu'on peut atteindre, nous remarquerons qu'un appareil de 1 ohm de résistance donne une déviation de toute l'échelle pour 30 millivolts. La bobine seule a un coefficient de température de 0,12 p. 100 par degré centigrade ; on le ramène à 0,02 p. 100 par l'adjonction de shunts qui absorbent 0,3 volt. Un des derniers modèles construits a une résistance de 0,3 ohm de cuivre et son coefficient de température est à peine la moitié du nombre ci-dessus.

Avec le même soin qu'on apportait aux shunts présentant une chute de potentiel de 300 millivolts, on réalise aujourd'hui des shunts où cette chute est réduite à 150 millivolts; d'où simplification et économie de construction. On néglige trop souvent, dans la plupart des instruments similaires, cette question du coefficient de température qui est cependant

capitale, comme on peut en juger par les considérations suivantes. Supposons qu'une station génératrice utilise 10 ampèremètres de 1 000 ampères. Si les shunts, au lieu de 50 millivolts n'en absorbent que 30, comme cela a lieu avec le millivoltmètre perfectionné de Weston pour tableaux, nous réalisons une économie de 20 watts, soit 4 hectowatts par appareil et par jour, avec une marche de 20 heures par jour, ou encore 4 kilowatts-heure; au bout de l'année, en chiffres ronds, on a une économie de 1 000 kilowatts-heure d'énergie susceptible d'être vendue 150 fr, en tarifant le kilowatt-heure à 0,15 fr. Ce gain représente 10 p. 100 d'un capital de 1 500 fr et compense largement la supériorité du prix d'achat.

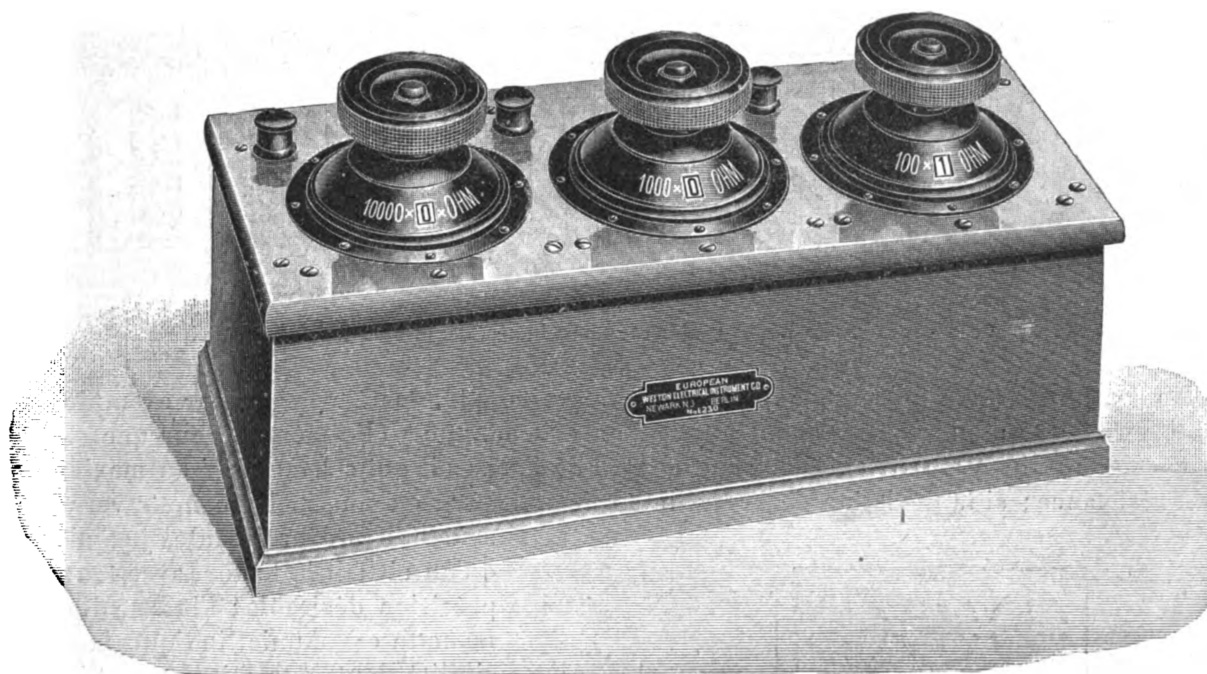


Fig. 6. — Vue d'ensemble d'une résistance additionnelle à trois décades.

II. Instruments étalons portatifs « Weston » et instruments de laboratoire. — Pour satisfaire aux exigences les plus variées deux types différents d'instruments transportables sont actuellement fabriqués pour étalons à courant continu. Dans le type A la précision est garantie à ± 0,1 d'une division; le type E, qui se recommande surtout comme étalon dans les stations centrales, a une sensibilité 15 p. 100 plus faible que le type A; leur exactitude est garantie à ± 0,2 d'un intervalle d'échelle.

Leur équipage mobile est protégé par une boîte en fonte contre les influences magnétiques extérieures. Tous les électriciens qui ont eu l'occasion d'observer les appareils de tableau sauront apprécier l'opportunité de cet écran magnétique.

Dans les instruments du type F pour tableaux (fig. 2 et 3), on s'est efforcé de réaliser le minimum d'encombrement; ils sont bon marché, mais néanmoins précis et capables de fournir un service de longue durée.

Un voltmètre étalon type A, avec boîte portative est représenté par la figure 4. On voit qu'il a deux graduations correspondant à deux sensibilités, l'une de 0 à 3 volts, l'autre de 0 à 150 volts. Il y a 3 bornes dont l'une est commune. La résistance pour les diverses sensibilités est renfermée dans l'instrument même.

***

Ce groupement des sensibilités est certainement une heureuse innovation, mais il ne faut pas oublier qu'une erreur de la part de l'opérateur peut détériorer l'instrument en appliquant, par exemple, le voltage maximum à la sensibilité maxima. La maison Weston a très ingénieusement surmonté cette difficulté en créant le voltmètre étalon type A. L'insertion des différentes sensibilités se fait au moyen de la manette placée au premier

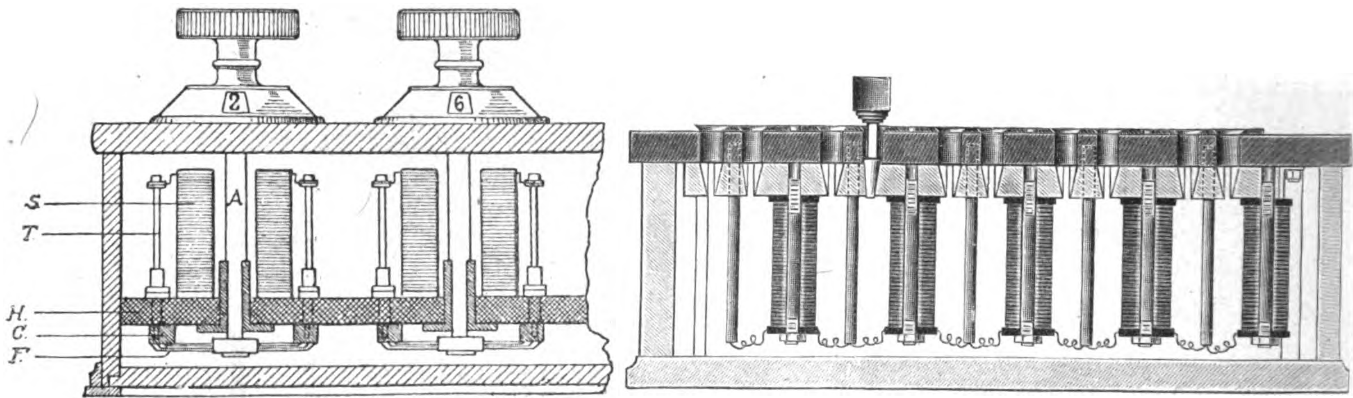


Fig. 7 et 8. — Schémas du montage intérieur d'une boîte à décades et d'une boîte à fiches.

plan ; sa position normale est toujours celle du voltage le plus élevé (750 par exemple) et elle y revient automatiquement aussitôt qu'on l'abandonne à elle-même. Pour une expérience, on relie le circuit extérieur aux bornes de l'appareil qui est *a priori* au maximum de résistance ; si la déviation de l'aiguille est insuffisante, on pousse la manette vers les sensibilités décroissantes jusqu'à ce qu'on ait fait la lecture avec toute la précision désirable ; l'index, dont la manette est munie, indique la sensibilité dont on a fait usage. Si une seule lecture suffit, on lâche la manette qui retourne d'elle-même à 750, ou bien, pour une série de lectures, on la fixe sur la sensibilité choisie, au moyen d'une fermeture à baïonnette.

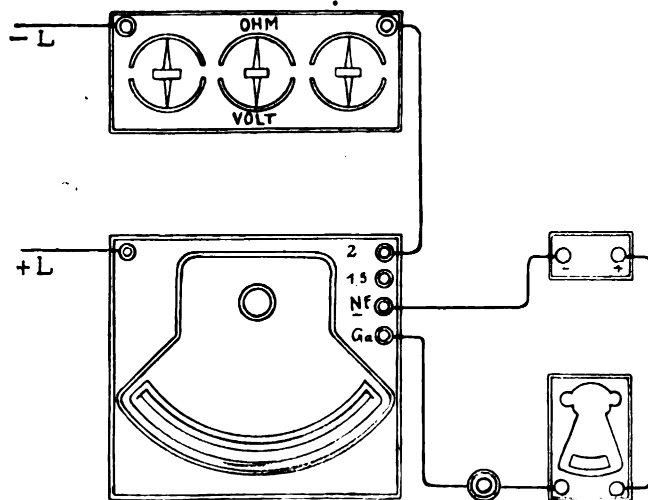


Fig. 9. — Schéma du montage d'un voltmètre normal Weston avec résistances à décades, élément normal Weston et galvanomètre.

Très remarquable également est le voltmètre spécial type A avec 150 divisions. Il donne directement le 0,01 volt par degré et, par interpolation, le 0,001 volt. Mais l'addition de résistances à décades permet d'étendre considérablement les limites de son emploi. Il partage, d'ailleurs, cette propriété avec le voltmètre étalon pour laboratoire que nous allons décrire plus en détail. La figure 5 est une photographie de l'appareil. La longueur de l'échelle de ces instruments, qui possèdent une aiguille de 20 mm, atteint plus du double de celle des instruments portatifs. Le cadran porte, en plus de la graduation habituelle lon-

gitudinale, qui est parallèle à l'aiguille, une graduation transversale en cinq divisions équidistantes, permettant de lire directement les deux dixièmes d'une division, de sorte qu'un œil même inexpérimenté peut lire exactement 1/10 d'intervalle. Le lecteur se rendra facilement compte de ce dispositif, imaginé par Weston, en traçant six arcs de cercle concentriques (le centre coïncidant avec l'axe de rotation de l'aiguille), puis deux divisions longitudinales consécutives. La diagonale qui joint les extrémités de ces dernières divisions, dans le sens croissant, constitue la graduation transversale divisée en cinq parties par les arcs de cercles concentriques. Sur l'appareil de la figure 5 cette graduation transversale n'existe pas encore.

Ce voltmètre de précision Weston peut être gradué pour n'importe quelle tension comprise entre 0 et 300 volts. Il porte deux échelles, l'une de 0 à 1,5 volt par exemple, l'autre de 0 à 150 volts, avec 3 bornes, dont l'une est commune ; les deux autres sont employées suivant que la tension à mesurer est comprise entre 0 et 150 volts ou entre 0 et 1,5 volt. Pour des tensions plus élevées, on a recours à des résistances additionnelles à décades. Celles-ci peuvent aussi bien servir comme rhéostats pour des usages quelconques ; à cet effet, elles portent deux graduations, l'une en ohms, l'autre en volts. La figure 6 donne une vue d'ensemble d'une boîte à trois décades et les figures 7 et 8 les schémas du montage intérieur d'une boîte à décades et d'une boîte de résistances à fiches.

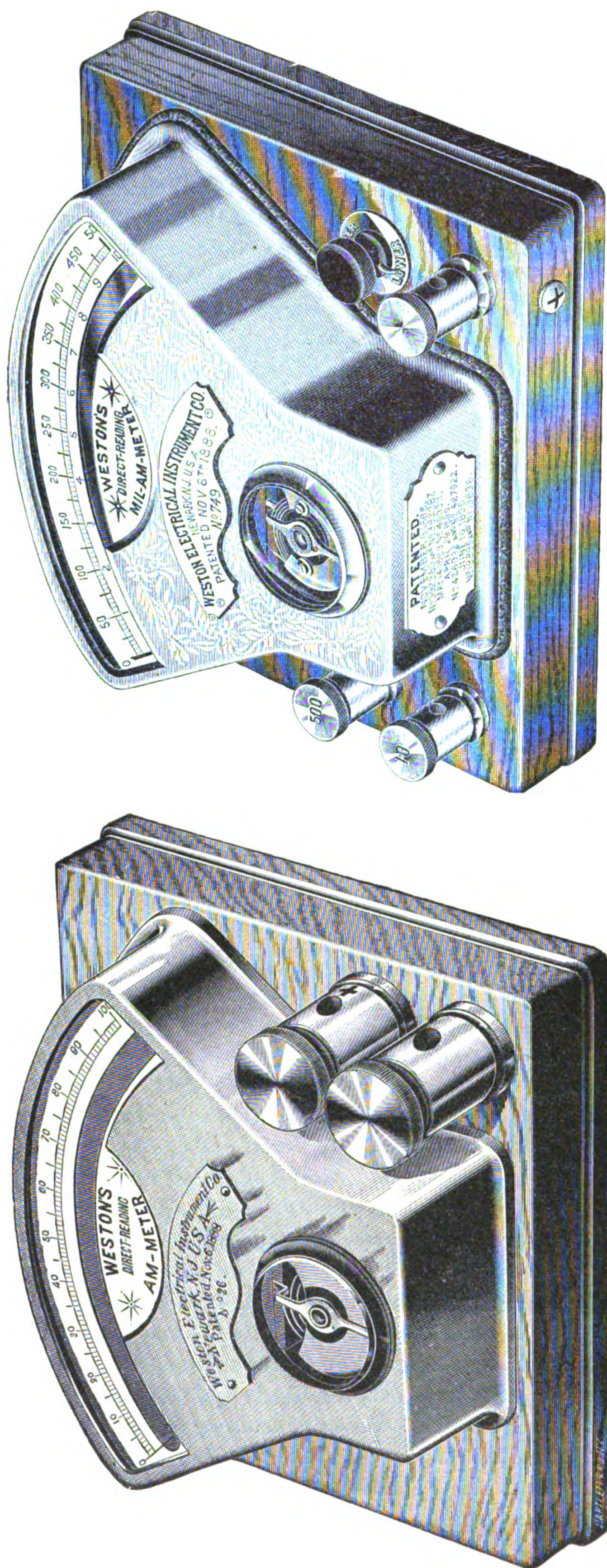


Fig. 10 et 11. — Ampèremètre et milliampèremètre étalons type A.

L'originalité du dispositif de M. Weston consiste à placer les blocs en laiton au-dessous de la platine en ébonite, de la sorte les divers contacts sont protégés contre la poussière de la salle d'expériences, d'une part, et, d'autre part, contre les fines poussières métalliques résultant du frottement des ressorts contre les contacts. Celles-ci tombent au fond de la boîte où leur présence n'offre aucun danger. Les surfaces en ébonite, qui servent à l'isolement des plots entre eux, sont elles-même à l'abri des impuretés de l'air ambiant et soustraites à l'action de la lumière qui détruit rapidement les propriétés isolantes de l'ébonite par la formation d'une couche d'acide sulfurique. Une fermeture à coulisse permet une inspection commode des surfaces de contact.

Dans l'emploi des boîtes à décades, il n'y a pas lieu de se tromper sur le nombre de volts ou d'ohms en jeu. Le chiffre qui apparait à la petite fenêtre dont est pourvu chaque bouton moleté indique combien de fois on doit prendre l'unité correspondante. Sur la figure 5, on lira une fois 100 volts, quatre fois 10 volts et dix fois 1 volt, soit 150 volts.

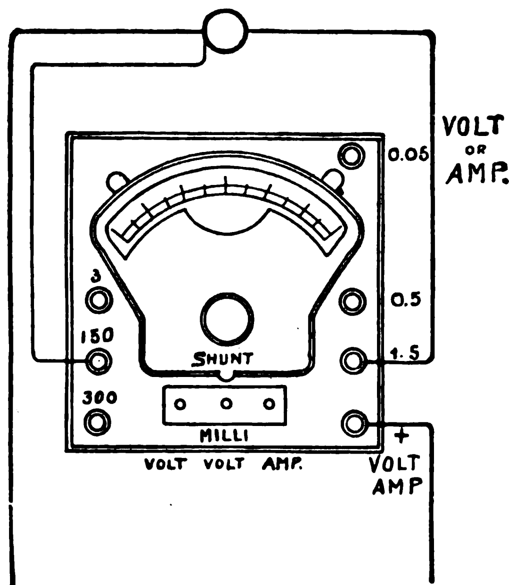


Fig. 12. — Schéma d'un voltmètre et ampèremètre universel type C, à plusieurs sensibilités.

Pour cet emploi, le voltmètre normal Weston est relié à une résistance à décades, à un élément normal Weston et à un galvanomètre avec clef de contact comme l'indique le diagramme (fig. 9). La sensibilité de l'instrument s'élève exactement à 100 ohms par volt. La résistance entre la borne 1 et 2 s'élève à 200 ohms, de sorte que l'instrument, lorsqu'il est employé directement avec ces deux bornes sans décades, produit une déviation complète de l'échelle avec 2 volts. De cette résistance de 200 ohms est dérivée une résistance de 101,9 ohms qui se compose entièrement de manganin et possède par suite un coefficient de température extrêmement faible. Comme l'instrument possède une sensibilité de 100 ohms par volt, le courant pour une déviation complète d'échelle atteint 0,01 ampère. La différence de potentiel sur la résistance de 101,9 ohms est par suite, pour une déviation complète d'échelle, de 1,010 volt, ce qui représente justement la valeur moyenne de la force électromotrice d'un élément normal Weston, la valeur de l'élément Clark étant de 1,4328 volt. Comme en général les instruments sont fournis avec un élément normal Weston déterminé, la résistance de dérivation est dans ce cas exactement égale à la valeur de la pile normale Weston. Si elle doit être étalonnée ou comparée avec l'appareil de mesure, elle est reliée aux points marqués dans le diagramme + L et — L à un appareil permettant de mesurer la tension très exactement. A cet effet ce qui convient le mieux, c'est une résistance élevée avec des subdivisions très nombreuses avec lesquelles l'appareil de mesure est couplé en parallèle, de sorte qu'il mesure la chute de tension de la partie de la résistance réglable qui se trouve en circuit. Pour ces mesures il faut procéder comme suit.

On ajuste les index de la résistance à décades sur le nombre de volts désirés, pourvu que la tension à mesurer s'élève à plus de 2 volts. On veut par exemple obtenir une déviation de toute l'échelle complète avec 150 volts. Dans ce cas on place l'index de la première décade sur 1, celui de la seconde décade sur 4 et enfin celui de la troisième

décade sur 10, soit 100 + 40 + 10 = 150 volts. Il n'est pas possible, comme on le voit facilement par une simple inspection de la résistance à décades, de combiner cette valeur 150 volts, en plaçant la première décade sur 1 et la seconde décade sur 5, car la troisième ne commence pas à 0 mais à 2 qui est la valeur de la résistance constante contenue dans l'instrument même. Après avoir ainsi disposé la résistance à décades, on amène l'aiguille du voltmètre sur la division supérieure et l'on presse ensuite la clef de contact qui se trouve dans le circuit de l'élément normal et du galvanomètre. Si l'instrument est bien

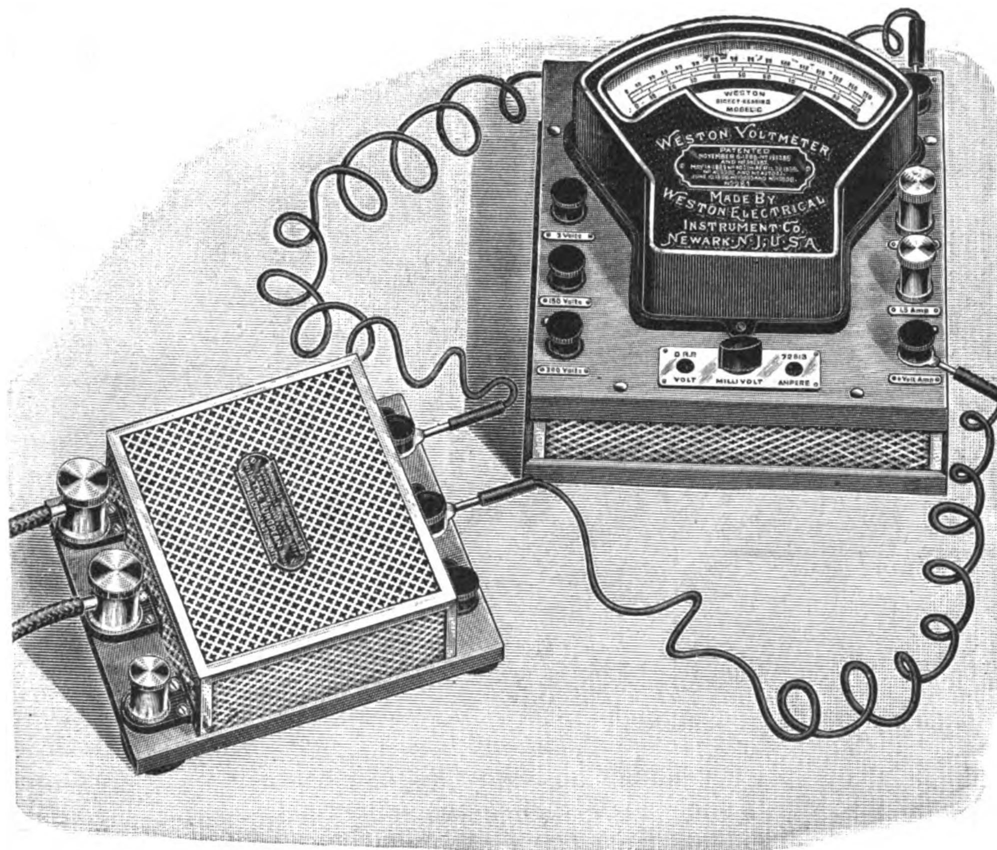


Fig. 13. — Voltmètre et ampèremètre universels, type C, avec une échelle double et shunt de précision extérieur.

réglé, il ne doit se produire aucun déplacement de l'aiguille du galvanomètre, quand on presse sur la clef de contact; dans le cas contraire on règle la tension jusqu'à ce que le galvanomètre n'indique plus aucune déviation. La position de l'aiguille de l'instrument correspond alors à la valeur de 0,01 ampère, de cette manière on peut pour des nombres de volts déterminés au-dessus de 2 volts et s'élevant de volt en volt au voltage maximum obtenir une déviation complète de l'échelle qui est par là complètement indépendante des erreurs d'échelle éventuelle et élimine également par l'emploi du galvanomètre et de l'élément normal les petits frottements mécaniques qui peuvent se produire occasionnellement dans l'instrument. Il arrive quelquefois qu'on observe encore des déviations de l'aiguille du voltmètre, alors que l'aiguille du galvanomètre reste rigoureusement au repos; elles sont dues alors à des influences magnétiques extérieures, en supposant que les résistances restent constantes. Ces déviations peuvent être éliminées en approchant de l'instru-

ment un petit aimant, qui placé dans une position convenable fait revenir l'aiguille sur la division 150; ou bien il faut tenir compte de ces différences dans les résultats obtenus. Si les déviations sont insignifiantes, on peut souvent les corriger par une simple rotation de l'appareil autour de son axe vertical.

Les millivoltmètres de laboratoire s'exécutent jusqu'à une précision de 1/10 000 de volt pour une division d'échelle et rendent possible dans ce cas une lecture de 1/100 000 volt.

Les ampèremètres étalons du type A sont basés sur le principe suivant : on mesure, à l'aide du millivoltmètre, la différence de potentiel aux extrémités d'une résistance de faible valeur parcourue par le courant à mesurer. Comme cette différence de potentiel est toujours

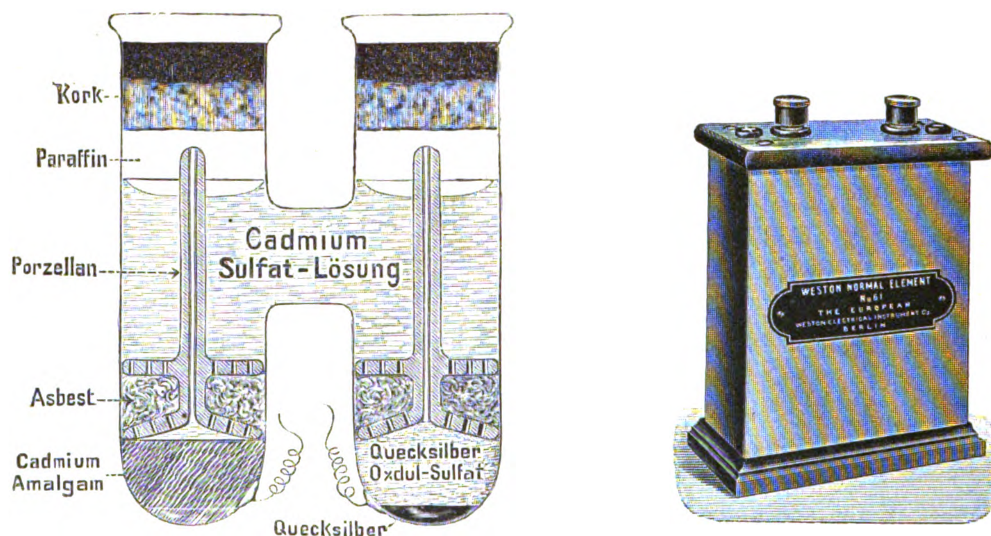


Fig. 14 et 15. — Coupe de la pile étalon « Weston » au cadmium et photographie de l'appareil tout monté.

Kork, liège; Paraffin, paraffine; Porzellan, porcelaine; Asbest, asbeste; Cadmium-Amalgam, amalgame de cadmium; Cadmium Sulfat-Lösung, solution de sulfate de cadmium; Quecksilber Oxdul-Sulfat, pâte de sulfate mercureux; Quecksilber, mercure.

proportionnelle au courant, on obtient un ampèremètre à lecture directe si l'on arrange la graduation du voltmètre de telle sorte que la déviation totale corresponde à l'intensité maximum. Par exemple, si cette intensité est égale à 150 ampères et que l'échelle du millivoltmètre possède 150 divisions, chaque intervalle correspond à 1 ampère. Les figures 10 et 11 représentent un ampèremètre et un milliampèremètre étalon type A.

La figure 12 est le schéma d'un voltmètre et ampèremètre universel du type C, à 4 sensibilités de tension et 3 d'intensité contenues dans le même instrument, avec shunt de précision extérieur. La figure 13 est une photographie du même appareil tout monté ; on remarquera que l'instrument possède une échelle avec 100 et 150 divisions pour sa déviation angulaire, ce qui permet d'employer des résistances additionnelles et des shunts dont la sensibilité maximum peut être un multiple entier de 100 aussi bien que de 150. Ces shunts de précision se composent d'une ou plusieurs lamelles de Westonine ; leurs dimensions sont telles qu'ils peuvent rester constamment en circuit pour le courant maximum, en d'autres termes aucune correction de température n'est nécessaire, ce qui n'a pas lieu avec les shunts portatifs qui ne sont normalement justes qu'à la température de 20°C.

Nous venons de parler de la « Westonine » comme de l'alliage employé dans la construction des shunts et des résistances pour les instruments dont nous nous occupons. Cet

alliage, composé de cuivre, de manganèse et d'un peu de mica, doit précisément son nom à Weston qui en est l'inventeur et qui le premier a lancé sur le marché ces alliages à coefficient de température négligeable et souvent même négatif. Les publications du Reichsanstalt allemand, qui ont surtout contribué à les mettre en relief, ne laissent aucun doute à ce sujet et citent M. Weston comme l'auteur de ce corps remarquable plus connu dans le monde électrique sous le nom de manganin. Ses premiers brevets aux États-Unis datent de 1886.

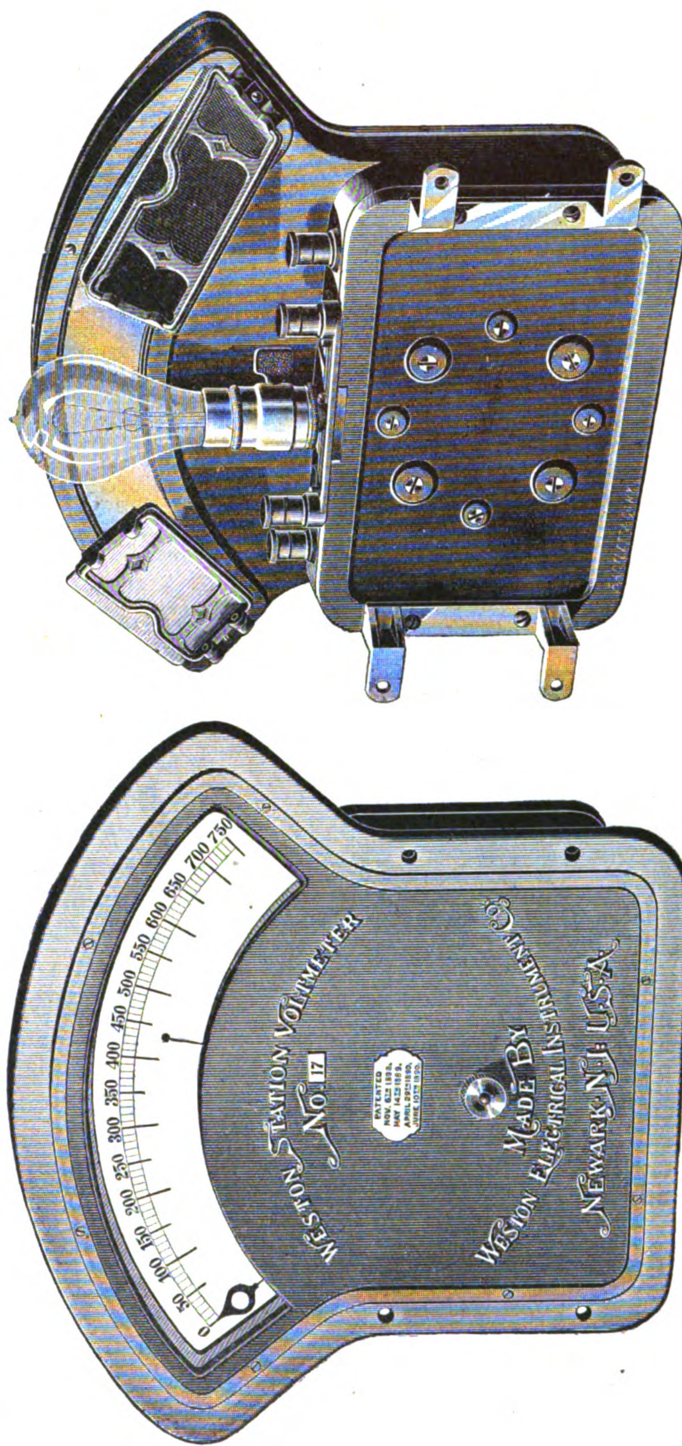


Fig. 16 et 17. — Voltmètre de tableau type B avec index normal et règle transparente éclairée par derrière. Grandeur 1/4.

C'est aussi M. Weston qui a donné la solution du problème de la permanence des aimants. Jusqu'ici beaucoup de constructeurs s'étaient attachés à produire des appareils du type à aimant permanent, mais par construction même l'obtention d'une permanence dans l'aimant devenait illusoire à cause de la grandeur de l'entrefer et de l'action démagnétisante du courant déviant lui-même. M. Weston a tourné la difficulté en appliquant à ses instruments le principe du galvanomètre Desprez-d'Arsonval et cette innovation lui a permis de doter l'industrie et les laboratoires des appareils de mesure les plus précis et les plus simples qui aient été réalisés jusqu'à ce jour.

III. Pile étalon au cadmium [1]. — La caractéristique de cet élément est sa constance à toutes les températures, du moins entre 4° et 40° C., qui lui assure une supé-

[1] Cet élément, dont tout le mérite revient à M. Weston, a été l'objet de nombreuses observations de la part de MM. Jæger et Lindeck au Reichsanstalt allemand ; les lecteurs qui voudraient en faire une étude spéciale, trouveront des renseignements abondants dans *Zeitschrift für Instrumenkunde*, t. XXI, p. 33 et 65, 1901 ; *Wiedmann's Annalen der Physik*, t. LIX, p. 589 ; *Éclairage Électrique*, t. XX, p. 98 et 239, t. XXV, p. 206 et 281 ; t. XXVI, p. 183 et t. XXVIII, p. 191.

riorité incontestable sur l'élément Clark. Sans vouloir en rien diminuer la valeur de ce dernier étalon, nous pouvons cependant faire remarquer que sa précision dépend à un haut degré de la qualité du thermomètre qui l'accompagne. Les figures 14 et 15 représentent l'élément Weston en coupe et en photographie, dans sa forme en H la plus moderne. La légende explicative qui accompagne le schéma indique les divers produits qui entrent dans sa constitution.

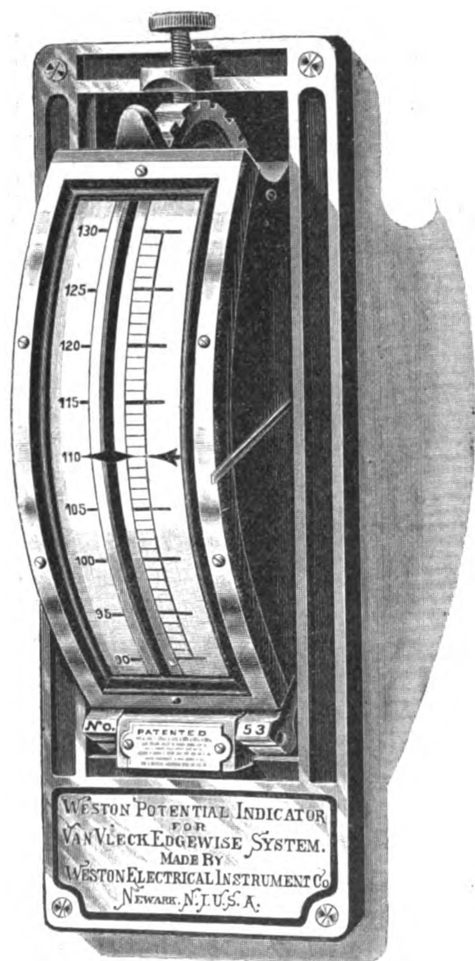


Fig. 18. — Voltmètre de profil. Grandeur 1/4.

Les pâtes d'amalgame de cadmium et de sulfate mercureux sont maintenues à la partie inférieure de leurs jambes respectives au moyen d'un piston à double fond, dont la tige va prendre appui sur le bouchon de fermeture. Le piston est tout en porcelaine ; les faces sont perforées pour faciliter la circulation de l'électrolyte (sulfate de cadmium) et l'intervalle entre ces faces est bourré d'asbeste très pure. L'obturation se fait d'abord par une couche de paraffine, puis un bouchon de liège et enfin un mastic qui adhère très bien au verre et a même coefficient de dilatation que lui ; on obtient ainsi une étanchéité parfaite : des piles abandonnées à elles-mêmes pendant près de dix ans n'ont pas décelé la moindre fuite ; elles supportent facilement de longs voyages. Cette qualité est très appréciable puisque la force électromotrice dépend de la concentration de la solution de sulfate de cadmium qui doit être saturée. La valeur de la force électromotrice est dans ce cas 1,0190 volt entre 4° et 40° C. Un excès de cristaux de sulfate de cadmium la fait tomber à 1,0184 volt. L'élément en circuit ouvert a une constance pour ainsi dire illimitée ; s'il venait à être mis en courtcircuit pendant un temps très court, il reprendrait sa valeur normale au bout de quelques heures.

IV. Appareils pour tableaux. — Au point de vue théorique, ils sont identiquement les mêmes que ceux de précision ; ils se distinguent seulement par quelques particularités de construction imposées par leur destination même. Comme avantage tout-à-fait spécial, on peut faire valoir qu'ils consomment moins d'énergie en service que les instruments de n'importe quelle autre fabrication.

Dans les ampèremètres du type F le shunt se trouve à l'intérieur de l'instrument pour les faibles intensités (jusqu'à 75 ampères inclusivement) ; dans ceux du type K, il est intérieur pour toutes les sensibilités jusqu'à 200 ampères. Pour les types A et B avec échelle illuminée et pour les sensibilités au-dessus de 75 ampères du type F, le shunt est séparé de l'instrument lui-même, de sorte qu'il peut être mis en circuit à n'importe quelle place du conducteur principal. Il est toujours pourvu du même numéro de fabrication que l'instrument auquel il est destiné et il est étalonné pour être employé avec cet instrument seul, il en est de même des cordons de connexion.

Les voltmètres se distinguent extérieurement des ampèremètres en ce qu'ils portent, outre l'aiguille indiquant la tension, un second index qui est appelé *index normal*

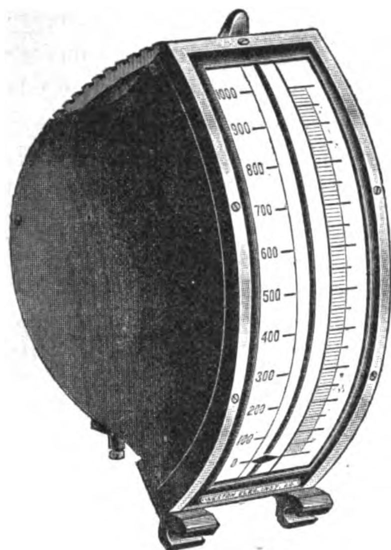


Fig. 19. — Autre modèle de voltmètre de profil.

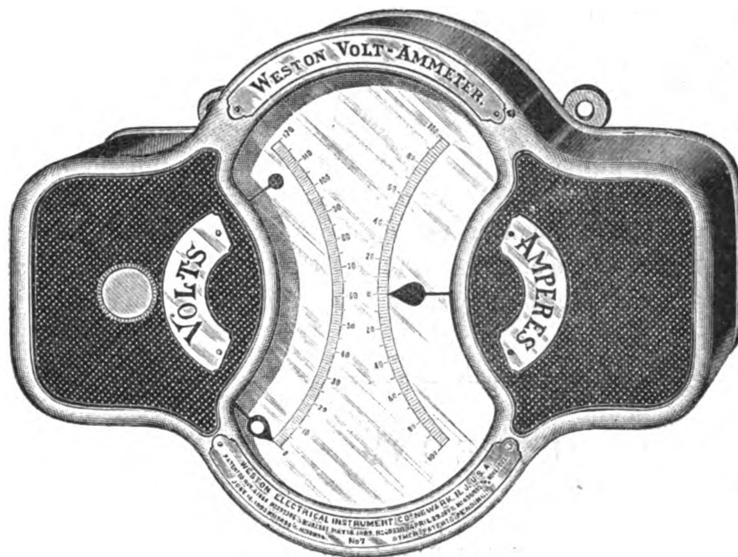


Fig. 20. — Voltmètre et ampèremètre combinés pour automobiles électriques.

figure 16. Cet index normal peut être ajusté de l'extérieur de la boîte au moyen d'un bouton fixé sur celle-ci. Il se termine à l'intérieur de la boîte par un disque noir mat que l'on règle sur la tension normale. Si l'aiguille atteint cette tension, le disque de l'index normal est recouvert par l'ouverture normale circulaire pratiquée dans la pointe en forme de poire de l'aiguille. Cette disposition très simple permet de distinguer une très légère variation de la tension sur la longue échelle de l'instrument.

On construit aussi des appareils à échelle transparente. Derrière celle-ci, mais non montée dans la boîte, ce qui occasionnerait un échauffement plutôt préjudiciable, se trouve une lampe à incandescence ainsi que des réflecteurs qui servent à répartir la lumière de la lampe sur l'échelle. Il est facile de se rendre compte des avantages de ce système ; les figures 16 et 17 représentent un voltmètre du type B, avec échelle transparente, vu par devant et par derrière.

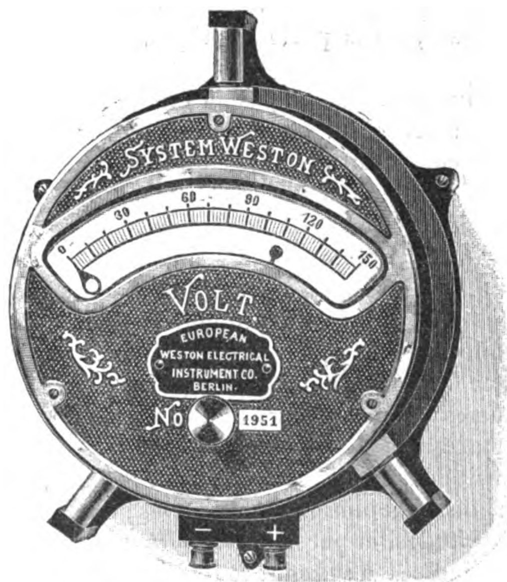


Fig. 21. — Voltmètre type F avec suspension élastique.

Non moins ingénieux est le système dit « de Profil » dont les figures 18 et 19 sont des photographies. Les dimensions d'encombrement sont très réduites. Comme on le voit sur la figure, l'aiguille se meut dans un plan vertical perpendiculaire à la surface des tableaux de distribution. Pour permettre à l'échel'e courbe d'être vue entièrement d'un coup d'œil de n'im-

****

porte quel point, les appareils pivotent sur un axe et peuvent être fixés dans n'importe quelle position au moyen d'une vis de réglage qui se cale dans une came dentée. Cette disposition offre un avantage particulier dans le cas où le tableau de distribution se trouve installé dans une galerie et que l'espace laissé à l'observateur pour l'embrasser d'un coup d'œil est très restreint. En groupant tous les ampèremètres de feeders et faisant passer une ligne par les pointes de leurs aiguilles, on obtient une courbe de la répartition de la charge de la station centrale, dont la surveillance est rendue plus facile.

Enfin, pour répondre aux applications multiples de l'électricité, on construit des volmètres et ampèremètres combinés pour automobiles électriques (fig. 20), avec une seule paire d'aimants renfermés dans une boîte très légère et étanche. Une suspension élastique (fig. 21), s'adaptant aux appareils ordinaires de tableau, permet d'installer ces derniers dans des endroits exposés à des trépidations ou des secousses violentes.

T. Pausert.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET DISTRIBUTION

Etude théorique d'un système 5-phasé, par **W.-E. Ehnert**, *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XXI, p. 89, 15 février 1903.

Cette étude a pour but d'établir une comparaison entre le système 5-phasé et le système triphasé, au point de vue de la section des conducteurs, de la perte ohmique, de la capacité, etc.

Nous ne suivrons pas la méthode de l'auteur pour arriver aux formules qui servent de base à cette comparaison, parce qu'il est facile de les déduire d'une manière beaucoup plus simple. Considérons un système n-phasé symétrique dont les forces électromotrices suivent la loi sinusoïdale. Soient $e_{p1}\, e_{p2}\, e_{p3} \ldots e_{pn}$ les valeurs instantanées des forces électromotrices phasiques ou étoilées, $i_1\, i_2 \ldots i_n \ldots$ les quantités correspondantes pour les courants; nous représenterons par les mêmes lettres affectées de l'indice l les valeurs instantanées de la force électromotriee et de l'intensité dans le circuit extérieur ou entre les bornes de deux phases consécutives; par E et I, les amplitudes, et par E_{eff} et I_{eff} les valeurs efficaces (les indices p et l sont toutefois supprimés dans les i, si le montage est en étoile; dans les e, si le montage est en triangle). On a :

$$e_{p1} = E_p \sin(\omega t)$$

$$e_{p2} = E_p \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{n}\right)$$

$$e_{p3} = E_p \sin\left(\omega t - 2\frac{2\pi}{n}\right)$$

. . . .

$$e_{pn} = E_p \sin\left(\omega t - (n-1)\frac{2\pi}{\eta}\right).$$

La somme Σe_p = somme de sinus d'arcs en progression arithmétique

$$= \frac{\sin n \times \frac{2\pi}{2n} \sin\left(\omega t + \frac{n-1}{2} \cdot \frac{2\pi}{\eta}\right)}{\sin\frac{\pi}{n}} = \sin\pi = 0$$

On démontre de même que $\Sigma i = 0$ ce qui permet de n'employer que n conducteurs au lieu de $2n$. Pour avoir la valeur instantanée de la différence de potentiel entre les bornes de deux phases consécutives c'est-à-dire, de la tension composée, il suffit de retrancher les valeurs instantanées des forces électromotrices de ces deux phases.

$$e_{lx} = E_p\left[\sin\left(\omega t - (x-2)\frac{2\pi}{n}\right) - \sin\left(\omega t - (x-1)\frac{2\pi}{n}\right)\right]$$

$$= E_l \sin\frac{\pi}{2} \cos\left[\omega t - \frac{2x-2}{2} \cdot \frac{2\pi}{n}\right].$$

D'où on tire $E_c = 2 \sin\frac{\pi}{n} E_p$.

Cette relation entre les valeurs maxima a lieu également entre les valeurs efficaces $E_{l,eff} = 2 \sin\frac{\pi}{n} E_{p,eff}$ et elle suppose le système monté en

étoile; dans le cas du montage en triangle, on obtient la même relation entre les deux intensités maxima et efficaces :

$$I_l = 2 \sin \frac{\pi}{n} I_p$$

et

$$I_{l.eff} = 2 \sin \frac{\pi}{n} I_{p.eff}.$$

La puissance totale est égale à n fois la puissance moyenne d'une phase :

$$W = nE_{p.eff} I_{eff} \cos \varphi = \frac{nE_{l.eff} I_{eff} \cos \varphi}{2 \sin \frac{\pi}{n}};$$

il en est de même de la perte par effet Joule $n r I^2_{eff}$. Dans le cas d'un système pentaphasé symétrique, on a $n = 5, \frac{\pi}{n} = 36$ et $2 \sin 36° = 1{,}17558$.

1° *Calcul de la section.* — La puissance totale devient alors : $W = \frac{5E_{l.eff} I_{eff} \cos \varphi}{1{,}17558}$; d'où on tire $I_{eff.} \frac{W \times 1{,}17558}{5 E_{l.eff.} \cos \varphi}$; en portant cette valeur de I dans nrI, la perte par effet Joule s'écrit : $5\, r \frac{W^2 \times 1{,}17558}{25 E^2_{l,eff} \cos^2 \varphi}$ Généralement dans une installation, on se fixe à l'avance les pertes concenties en p. 100, aussi bien pour l'énergie dissipée sous la forme de chaleur, que pour la chute ohmique. Soit p_a cette valeur dans le premier cas, nous aurons alors l'égalité suivante :

$$\frac{p_a W}{100} = r \times \frac{W^2 \times \overline{1{,}17558}^2}{5E^2_{l,eff} \cos^2 \varphi} = 5 \times \frac{l}{s} \times \frac{W^2 \times \overline{1{,}17558}^2}{5E^2_{l,eff} \cos^2 \varphi}.$$

L'auteur prend pour résistivité du cuivre le nombre $\frac{1}{57}$ qui représente la résistance en ohms de 1 m de fil de 1 mm² de section ; alors l est exprimé en mètres et s en mm².

$$s = \frac{l \times W \times 0{,}48}{E^2_{l,eff} \cos^2 \varphi p_a} \text{ mm}^2.$$

2° *Calcul de la capacité.* — On définit d'une manière générale la capacité d'un conducteur comme le rapport entre sa charge et son potentiel; or cette capacité dépend aussi des potentiels des autres conducteurs. Supposons que les extrémités des cinq fils de ligne aboutissent aux sommets d'un pentagone régulier, le fil 1 étant au point le plus éloigné du sol, 2 et 5, puis 3 et 4 étant dans un même plan horizontal, et, représentons par : $h_1, h_2 = h_5, h_3 = h_4$, leurs hauteurs respectives au-dessus du sol ; a_1 les distances du fil 1 aux fils 2 et 5; a_2, les distances du fil 1 aux fils 3 et 4 ; c, la capacité du fil 1 par unité de longueur et dans l'air; V_1, son potentiel, et enfin par q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, les charges des différents conducteurs. Nous avons les relations connues :

$$C = \frac{1}{2 \operatorname{Log} \frac{2h_1}{r}} = \frac{q_1}{V_1};$$

Dans l'expression de V_1 entrent les potentiels dus aux différents conducteurs. L'auteur en donne la valeur suivante :

$$V_1 = 2q_1 \operatorname{Log} \frac{2h_1}{r} + 2q_2 \operatorname{Log} \frac{2h_2}{a_1} + 2q_3 \operatorname{Log} \frac{2h_3}{a_2} + 2q_4 \operatorname{Log} \frac{2h_3}{a_2} + 2q_5 \operatorname{Log} \frac{2h_2}{a_1}$$

Les charges $q_1, q_2, \ldots q_5$ sont proportionnelles aux tensions alternatives ; considérons, en particulier, l'instant où la tension dans le conducteur 1 atteint son maximum, on pourra écrire que la charge de

1 est égale à q_1 par unité de longueur.
2 » $q_1 \sin (90° + 72°) = 0{,}309\, q_1$.
3 » $q_1 \sin (90° + 144°) = -0{,}809\, q_1$.
4 » $q_1 \sin (90° + 216°) = -0{,}809\, q_1$.
5 » $q_1 \sin (90° + 288°) = 0{,}309\, q_1$.

On en déduit :

$$V_1 = 2q_1 \left[\operatorname{Log} \frac{2h_1}{r} + 0{,}618 \operatorname{Log} \frac{2h_2}{a_1} - 1{,}618 \operatorname{Log} \frac{2h_3}{a_2} \right]$$

et, pour la capacité par unité de longueur,

$$C = \frac{1}{2 \left[\operatorname{Log} \frac{2h_1}{r} + 0{,}618 \operatorname{Log} \frac{2h_2}{a_1} - 1{,}618 \operatorname{Log} \frac{2h_3}{a_2} \right]}$$

Il suffit de diviser par 9×10^5 pour avoir la valeur de la capacité en microfarads.

3° *Calcul de la self-induction.* — L'induction totale comprend la self-induction et l'induction mutuelle. La première agit en sens contraire du courant dans le conducteur; la seconde

agit dans le même sens, ou en sens contraire suivant que les courants, dans les deux conducteurs, sont eux-mêmes de sens contraire ou de même sens. Le coefficient de self-induction est :

$$\mathcal{L}_s = 2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{R} - \frac{3}{4}\right];$$

celui d'induction mutuelle

$$M = 2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{d} - 1\right],$$

étant les distances des fils comptées d'axe en axe et que nous supposons égales à 70 cm et 114 cm et R leur rayon. L'induction totale $\mathcal{L} = \mathcal{L}_s + M$. En tenant compte de la direction des courants dans les cinq fils on a :
pour le conducteur

1. $\mathcal{L}_s = -2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{R} - \frac{3}{4}\right]$

2. $M_2 = -2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{70} - 1\right]$

3. $M_3 = +2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{114} - 1\right]$

4. $M_4 = +2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{114} - 1\right]$

5. $M_5 = -2l\left[\mathrm{Log}\frac{2l}{70} - 1\right].$

Nous admettrons, comme plus haut, que le courant est égal dans le fil

1	à 1
2	à 0,309
3	à 0,809
4	à 0,809
5	à 0,309

On en déduit pour l'induction totale dans les divers conducteurs :

$$\mathcal{L}_1 = 2l\left[-\mathrm{Log}\frac{2l}{R} + 1{,}618\,\mathrm{Log}\frac{2l}{114} - 0{,}618\,\mathrm{Log}\frac{2l}{70} - 0{,}25\right]$$

$$\mathcal{L}_2 = 2l\left[-0{,}309\,\mathrm{Log}\frac{2l}{R} - 0{,}191\,\mathrm{Log}\frac{2l}{70} + 0{,}5\,\mathrm{Log}\frac{2l}{114} - 0{,}078\right]$$

$$\mathcal{L}_3 = 2l\left[0{,}809\,\mathrm{Log}\frac{2l}{R} + 0{,}5\,\mathrm{Log}\frac{2l}{70} - 1{,}309\,\mathrm{Log}\frac{2l}{114} + 0{,}202\right]$$

$$\mathcal{L}_4 = 2l\left[0{,}809\,\mathrm{Log}\frac{2l}{R} - 1{,}309\,\mathrm{Log}\frac{2l}{114} + 0{,}5\,\mathrm{Log}\frac{2l}{70} + 0{,}202\right]$$

$$\mathcal{L}_5 = 2l\left[-0{,}309\,\mathrm{Log}\frac{2l}{R} + 0{,}5\,\mathrm{Log}\frac{2l}{114} - 0{,}191\,\mathrm{Log}\frac{2l}{70} - 0{,}077\right].$$

Nous allons appliquer ces formules à un exemple numérique.

Application. — On veut transmettre 200 000 watts à 100 km, avec une tension de 10 000 volts entre conducteurs extérieurs, une perte de 10 pour 100 et un facteur de puissance 0,85.

Section. — Dans le système 5-phasé, la section du conducteur sera :

$$s_5 = \frac{200\,000 \times 100\,000 \times 0{,}48}{\overline{10\,000}^2 \times 10 \times \overline{0{,}85}^2} = 13{,}35 \text{ mm}^2;$$

on en déduit pour le diamètre, 4,25 mm et pour la section totale $5 \times 13{,}35 = 69{,}2$ mm², et pour le poids de cuivre 61 650 kg.

Dans le système triphasé ;

$$s_3 = \frac{1{,}75 \times 200\,000 \times 100\,000}{\overline{10\,000}^2 \times 10 \times \overline{0{,}85}^2} = 48{,}6 \text{ mm}^2;$$

on en déduit pour le diamètre, 8 mm, pour la section totale 150 mm², et pour le poids de cuivre 135.000 kg.

Courant :

$$I_{5\,eff} = \frac{200\,000 \times 1{,}17558}{5 \times 10\,000 \times 0{,}85} = 5{,}53 \text{ ampères.}$$

$$I_{3\,eff} = \frac{200\,000}{1{,}732 \times 10\,000 \times 0{,}85} = 13{,}6 \text{ ampères.}$$

Résistance :

$$R_5 = \frac{c \times l}{s} = 125{,}6 \text{ ohms.}$$

$$R_3 = \quad » \quad = 35 \quad »$$

Chute ohmique. — Système 5-phasé : $125{,}6 \times 5{,}58 = 694$ volts par conducteur.

Système 3-phasé : $35 \times 13{,}6 = 476$ volts par conducteur.

Capacité. — En faisant $h_3 = 700$ cm, $h_2 = 770$ cm et $h_1 = 810$ cm, $a_1 = 70$ cm, et $a_2 = 114$ cm, la formule donne :

$$C = 2\left[\text{Log}\frac{1620}{0,21} + 0,618\,\text{Log}\frac{1540}{70} - 1,618\,\text{Log}\frac{1400}{114}\right] = \frac{1}{16,706}$$

et pour la longueur totale du réseau :

$$C_3 = \frac{10^7}{16,706} \text{ unités électrostatiques C. G. S.}$$

ou encore

$$\frac{10^7}{16,706 \times 9 \times 10^5} = 0,667 \text{ microforad.}$$

Si nous prenons la formule simple $C = \frac{l}{2\,\text{Log}\frac{a}{r}}$, nous aurons, pour le système triphasé, $C_3 = 1,08$ microfarad ; mais la formule qui tient compte des distances des fils entre eux et à la terre donne :

$$V_1 = 2q_1\left[\text{Log}\frac{2h_1}{r} + \text{Log}\frac{2h_2}{a}\right]$$

où on prend $h_1 = 760$ cm, $h_2 = 700$ cm.

$$V_1 = 2q_1\left(1\,\text{Log}\frac{1520}{0,4} - 0,5\,\text{Log}\frac{1400}{70}\right)$$

$$C_3 = \frac{100}{10,494 \times 9} = 1,06 \text{ microfarad.}$$

Self-induction. — On a : $L_5 = 0,15698$ henry, en appliquant la formule donnée plus haut,

$$L_3 = l\left\{2\,\text{Log}\frac{a}{r} + \frac{1}{2}\right\} = 2\,\frac{10^7}{10^9}\left(2\,\text{Log}\frac{70}{0,4} + \frac{1}{2}\right) = 0,1083 \text{ Henry.}$$

Réactance $x = \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$. — On suppose la fréquence $f = 50$; d'où $\omega = 2\pi f$. Alors

$$x_5 = 0,15698 \times \pi \times 50 - \frac{1}{0,667 \times 2\pi \times 50} = 49,3 \text{ ohms}$$

$$x_3 = 0,1083 \times 2\pi \times 50 - \frac{1}{1,06 \times 2\pi \times 50} = 33,017 \text{ ohms}$$

Chute ohmique totale. — Système 5-phasé : $694 \times 1,17558 = 815$ volts.

Système 3-phasé : $476 \times \sqrt{3} = 824$ volts.

Force électromotrice de réactance. — Système 5-phasé : $49,3 \times 5,53 \times 1,17588 = 320$ volts.

Système 3-phasé : $33,017 \times 13,6 \times \sqrt{3} = 777$ volts.

Force électromotrice d'impédance. — L'auteur définit ainsi la force électromotrice donnée par l'égalité :

$$E^2_{eff} = I^2_{eff}\left[r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right]$$

$$E'_{5,eff} = \sqrt{320^2 + 815^2} = 875 \text{ volts}$$

$$E'_{3,eff} = \sqrt{772^2 + 824^2} = 1130 \text{ vols.}$$

Conclusion de la comparaison entre les deux systèmes. — Il résulte de cette étude qu'une distribution pentaphasée exige un poids de cuivre de 50 p. 100 inférieur à celui qu'exigerait la transmission de la même énergie en triphasé ; mais, par contre, les dépenses en montage, pose de conducteurs, isolateurs, etc., seront beaucoup plus grandes, de sorte que l'économie réalisée n'est plus guère que de 40 p. 100. Il présente également une moindre perte ohmique. Malgré tous ces avantages, le système 5-phasé restera toujours limité aux transmissions de grande importance, car déjà on peut atteindre à des tensions très élevées avec le système triphasé. Il convient particulièrement bien pour l'alimentation des moteurs ; si on veut l'appliquer avec succès à l'éclairage, il faudra toujours employer un conducteur neutre comme dans le système triphasé.

T. P.

Sur le facteur de puissance des moteurs triphasés dans le cas d'une courbe de tension de forme quelconque, par **Alberto Dina**. *Zeitschrift für Elektrotechnik*, t. XXI, p. 261, 3 mai 1903.

La courbe de tension d'un moteur triphasé s'écarte, en général, très peu de la sinusoïde, parce que, dans ce cas particulier, les harmoniques dont la fréquence est un multiple de 3 de la fréquence fondamentale s'évanouissent ; en outre, dans la courbe du courant, les autres harmoniques sont amortis par l'effet de la self-induction. On ne peut pas, cependant affirmer *à priori* que l'erreur que l'on commet, en supposant les courbes rigoureusement sinusoïdales, soit négligeable dans la pratique ; pour cer-

taines mesures, celle du facteur de puissance en particulier, il y a lieu de tenir compte même d'une erreur de 2 pour 100. Nous nous proposerons donc d'établir des relations générales entre les trois grandeurs suivantes : 1° Facteur de puissance obtenu en faisant le quotient de la puissance de la machine par le produit du voltage et de l'intensité efficaces ; 2° cos φ_1, φ_1 étant le déphasage entre la force électromotrice et le courant sur l'une des phases pour l'onde fondamentale et étant déterminé par $tg\varphi_1 = \frac{\omega L_1}{R_1}$; 3° Facteur de puissance calculé par la formule de la tangente, laquelle suppose d'ailleurs la courbe rigoureusement sinusoïdale.

Nous admettons que les trois phases du moteur sont identiques, aussi bien pour le montage en étoile que pour le montage en triangle. Nous désignerons par :

E_{eff}, I_{eff}, le voltage et l'intensité efficaces sur l'un des conducteurs ;

E_x, I_x les amplitudes des harmoniques d'ordre x.

φ_x, le déphasage entre la force électromotrice et le courant d'une phase pour un harmonique d'ordre x ;

W_1 W_2 les puissances indiquées par deux wattmètres, et enfin par $W = W_1 + W_2$, la puissance totale fournie aux bornes du moteur.

Les seuls harmoniques que nous ayons à considérer ici sont ceux d'ordres 5, 7, 11, 13... etc., et en général tous les harmoniques correspondant à la fréquence $x = 6a \pm 1$, a étant un nombre entier quelconque. Or les harmoniques $6a - 1$ et $6a + 1$ se comportent, dans les calculs, exactement comme les harmoniques 5 et 7 ; pour simplifier, nous ne considérerons donc que ces deux derniers.

Rappelons quelques formules et transformations d'un usage courant en électrotechnique [1]. On a d'abord :

$$E_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}(E_1^2 + E_5)^2 + (E_7)^2 + \ldots} = \frac{E_1}{\sqrt{2}}\sqrt{1 + \left(\frac{E_5}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{E_7}{E_1}\right)^2 + \ldots} \quad (1)$$

[1] Nous pouvons indiquer à nos lecteurs, comme source de renseignements, l'ouvrage de J.-L. La Cour, où toutes ces formules sont très bien exposées : *Theorie der Wechseltröme und Transformatoren*, p. 161 et 302. Julius Springer, Berlin.

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{2}\{I_1^2 + I_5^2 + I_7^2 + \ldots} = \frac{I_1}{\sqrt{2}}\sqrt{1 + \left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2 + \ldots} \quad (2)$$

puis pour l'expression du travail :

$$W_1 = \frac{E_1 I_1}{2}\cos(\varphi_1 - 30^\circ) + \frac{E_5 I_5}{2}\cos(\varphi_5 + 30^\circ) + \frac{E_7 I_7}{2}\cos(\varphi_7 - 30^\circ) + \ldots \quad (3)$$

$$W_2 = \frac{E_1 I_1}{2}\cos(\varphi_1 + 30^\circ) + \frac{E_5 I_5}{2}\cos(\varphi_5 - 30^\circ) + \frac{E_7 I_7}{2}\cos(\varphi_7 + 30^\circ) + \ldots ; \quad (4)$$

d'où on tire :

$$W_1 + W_2 = W = \frac{\sqrt{3}}{2}(E_1 I_1 \cos\varphi_1 + E_5 I_5 \cos\varphi_5 + E_7 I_7 \cos\varphi_7 + \ldots) \quad (5)$$

$$W_1 - W_2 = \frac{1}{2}(E_1 I_1 \sin\varphi_1 - E_5 I_5 \sin\varphi_5 + E_7 I_7 \sin\varphi_7 + \ldots \quad (6)$$

Pour déterminer l'angle de déphasage pour un harmonique d'ordre x, on a les relations connues :

$$\sin\varphi_x = \frac{x\omega\mathcal{L}}{\sqrt{r^2 + (x\omega\mathcal{L})^2}} \qquad \cos\varphi_x = \frac{r}{\sqrt{r^2 + (x\omega\mathcal{L})^2}}$$

$$\frac{E_x}{E_1} = \frac{I_x}{I_1} + \frac{\sqrt{r^2 + (x\omega\mathcal{L})^2}}{\sqrt{r^2 + (\omega\mathcal{L})^2}},$$

où r et $\mathcal{L}$ représentent la résistance et le coefficient de self-induction d'une phase du moteur, et $\omega = 2\pi f$, f étant la fréquence de l'onde fondamentale. On tire de ces expressions :

$$\frac{E_x}{E_1} \times \frac{\cos\varphi_x}{\cos\varphi_1} = \frac{I_x}{I_1}$$

ou

$$\frac{E_x I_x}{E_1 I_1} \times \frac{\cos\varphi_x}{\cos\varphi_1} = \left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2; \quad (7)$$

$$\frac{E_x}{E_1} \times \frac{\sin\varphi_x}{\sin\varphi_1} = x\left(\frac{I_x}{I_1}\right)$$

ou

$$\frac{E_x I_x}{E_1 I_1} \times \frac{\sin\varphi_5}{\sin\varphi_1} = x\left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2 \quad (8)$$

et enfin

$$\left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2 = \left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2 \{1 + (x^2 - 1)\sin^2\varphi_1\}. \quad (9)$$

En portant les valeurs données par (7) et (8) dans (5) et (6) où on a mis $E_1 I_1 \cos\varphi_1$ et $E_1 I_1 \sin\varphi_1$ en facteur on obtient :

$$W_1 + W_2 = \sqrt{3}\cdot\frac{E_1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_1}{\sqrt{2}}\cos\varphi_1\left[1+\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2 + \ldots\right] \qquad (10)$$

$$W_1 - W_2 = \sqrt{3}\cdot\frac{E_1}{\sqrt{2}}\cdot\frac{I_1}{\sqrt{2}}\sin\varphi_1\left[1-5\left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2 + 7\left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2 - \ldots\right] \qquad (11)$$

Le facteur de puissance est défini par le rapport :

$$k = \frac{W}{\sqrt{3}\; E_{eff}\times I_{eff}},$$

qui devient en combinant (1), (2) et (10) :

$$k = \cos\varphi_1\sqrt{\frac{1+\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2+\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots}{1+\left(\frac{E_5}{E_1}\right)^2+\left(\frac{E_7}{E_1}\right)^2+\ldots}}. \qquad (12)$$

On peut se servir de l'égalité

$$\sqrt{\frac{1+y_1^2+y_2^2+\ldots}{1+z_1^2+z_2^2+\ldots}} = 1+\frac{1}{2}y_1^2+\frac{1}{2}y_2^2+\ldots - \frac{1}{2}z_1^2 - \frac{1}{2}z_2^2 - \ldots$$

qui est suffisamment approchée pour des petites valeurs de $y_1, y_2 \ldots z_1\, z_2 \ldots$ L'expression (12) se transforme alors en la suivante :

$$k = \cos\varphi_1\left[1+\frac{1}{2}\left\{\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2-\left(\frac{E_5}{E_1}\right)^2+\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2 - \left(\frac{E_7}{E_1}\right)^2+\ldots\right\}\right]. \qquad (13)$$

ou encore en tenant compte de (9)

$$k = \cos\varphi_1\left[1-\frac{1}{2}\sin^2\varphi_1\,\Sigma(x^2-1)\left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2\right]. \qquad (14)$$

Comme tous les termes sous le signe Σ sont essentiellement positifs, on voit que le facteur de puissance k est plus petit que $\cos\varphi_1$, c'est-à-dire, que le cosinus de l'angle de déphasage entre la tension et le courant sur l'une des phases relativement à l'onde fondamentale.

Par la méthode de la tangente, on aurait trouvé pour le facteur de puissance une valeur k' telle que

$$k' = \frac{1}{\sqrt{1+\sqrt{3}\left(\frac{W_1-W_2}{W_1+W_2}\right)^2}}$$

$$= \cos\varphi_1 \times \frac{1+\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2+\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots}{\sqrt{\cos^2\varphi_1\left\{1+\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2+\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots\right\}^2+\sin^2\varphi_1\left\{1-5\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2+7\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots\right\}^2}} \qquad (15)$$

On développe la quantité sous le radical et, en négligeant les termes de degré supérieur au 4e, on obtient :

$$k' = \frac{1+\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2+\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots}{\sqrt{1-2\left(\frac{I^5}{I_1}\right)^2\left\{(5\sin^2\varphi_1-\cos^2\varphi_1)+2\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2\right\}(7\sin^2\varphi_1+\cos^2\varphi_1)+\ldots,}} \qquad (16)$$

ou encore, en faisant intervenir la formule approchée rappelée ci-dessus :

$$k' = \cos\varphi_1\left[\left\{1+\sin^2\varphi_1\left\{(5+1)\left(\frac{I_5}{I_1}\right)^2 - (7-1)\left(\frac{I_7}{I_1}\right)^2+\ldots\right\}\right]\right. \qquad (17)$$

En remplaçant x par $6a \pm 1$, on arrive à l'expression suivante :

$$k' = \cos\varphi_1\left[1+\sin^2\varphi_1\,\Sigma\,6a\left\{\left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2 - \left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2\right\}\right]. \qquad (18)$$

Comme sous le signe Σ entrent autant de termes positifs que de termes négatifs, il en résulte que k' peut être plus grand ou plus petit que $\cos\varphi_1$ défini plus haut; en général la différence entre k' et $\cos\varphi_1$ sera petite.

Il nous reste à écrire la valeur de k sous une forme analogue à celle de k'.

$$k = \cos\varphi_1\left[1-\frac{1}{2}\sin^2\varphi_1\,\Sigma\,6a\left\{(6a-2)\left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2+(6a+2)\left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2\right\}.\right. \qquad (19)$$

d'où :

$$\frac{k'}{k} = \frac{1 + \sin^2 \varphi_1 \Sigma 6a \left\{ \left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2 - \left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2 \right\}}{1 - \frac{1}{2} \sin^2 \varphi_1 \Sigma 6a \left\{ (6a-2) \left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2 + (6a+2) \left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2 \right\}} \quad (20)$$

ou approximativement :

$$\frac{k'}{k} = 1 + \frac{1}{2} \sin^2 \varphi_1 \Sigma (6a)^2 \left\{ \left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2 \right\} = 1 + 18 \sin^2 \varphi_1 \Sigma a^2 \left\{ \left(\frac{I_{6a-1}}{I_1}\right)^2 + \left(\frac{I_{6a+1}}{I_1}\right)^2 \right\}, \quad (21)$$

c'est-à-dire que k' est plus grand que k. La formule de la tangente donne donc, pour le facteur de puissance, une valeur supérieure à la réalité.

Au lieu des harmoniques du courant, il est facile d'introduire ceux de la tension dans les calculs. Par exemple, des relations (7) et (8) on tire

$$\left(\frac{I_x}{I_1}\right)^2 = \frac{1}{x^2} \left(\frac{\sin \varphi_x}{\sin \varphi_1}\right)^2 \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2,$$

et on arrive à une expression analogue à (14) :

$$k = \cos \varphi_1 \left[1 - \frac{1}{2} \Sigma \frac{x^2 - 1}{x_2} \sin^2 \varphi_x \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2 \right\} \quad (22)$$

Les transformations sont tout aussi simples dans les autres formules. Or, on a toujours $x \geqq 5$ et $\left(\frac{r}{\omega \mathfrak{L}}\right)^2$ dans la marche à vide est petit ; par conséquent

$$\sin^2 \varphi_x = \frac{1}{1 + \frac{1}{x^2} \left(\frac{r}{\omega \mathfrak{L}}\right)^2 + \ldots}$$

est sensiblement égal à l'unité quand la charge est nulle, et décroît lentement quand la charge augmente. Nous pouvons donc, comme première approximation, poser $\sin^2 \varphi_x = 1$ dans l'égalité (22); il en résulte les simplifications suivantes :

$$k = \cos \varphi_1 \left\{ 1 - \frac{1}{2} \Sigma \frac{x^2 - 1}{x^2} \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2 \right\} \quad (23)$$

$$k = \cos \varphi_1 \left[1 + \Sigma \frac{6a}{(6a-1)^2} \left(\frac{E_{6a-1}}{E_1}\right)^2 - \frac{6a}{(6a+1)^2} \left(\frac{E_{6a+1}}{E_1}\right)^2 \right] \quad (24)$$

$$\frac{k'}{k} = 1 + \frac{1}{2} \Sigma \left\{ \left(\frac{6a}{6a-1}\right)^2 \left(\frac{E_{6a-1}}{E_1}\right)^2 + \left(\frac{6a}{6a+1}\right)^2 \left(\frac{E_{6a+1}}{E_1}\right)^2 \right\} \quad (25)$$

Les rapports $\frac{6a}{6a-1}$ et $\frac{6a}{6a+1}$ sont voisins de l'unité et se compensent en quelque sorte réciproquement, on peut donc sans grande erreur écrire que

$$\frac{k'}{k} = 1 + \frac{1}{2} \Sigma \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2.$$

D'après (1), on a :

$$E_{eff} = \frac{E_1}{\sqrt{2}} \left(1 + \Sigma \left(\frac{E_x}{E_1}\right)^2\right),$$

ce qui nous conduit finalement à l'expression suffisamment approchée (presque exacte d'ailleurs dans le cas de la marche à vide),

$$\frac{k'}{k} = \frac{P_{eff}}{\frac{P_1}{\sqrt{2}}} = \frac{P_{eff}}{(P_1)_{eff}},$$

c'est-à-dire que la valeur du facteur de puissance fournie par la formule de la tangente surpasse la valeur vraie d'autant pour cent que la valeur efficace d'une courbe de tension complexe quelconque surpasse la valeur efficace de l'onde fondamentale. Avec le même degré d'approximation ce rapport existe contre $\cos \varphi_1$ et k, car $\frac{x^2-1}{x^2}$ diffère très peu de l'unité.

T. P.

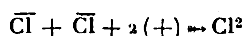
ÉLECTROCHIMIE

Contribution à la théorie de l'électrolyse des solutions de chlorures alcalins, par **F. Fœrster** et **Erich Müller**. *Zeitschrift f. Elektrochemie* t. IX p. 171 et 195, 26 février et 5 mars 1903.

De leurs nouveaux travaux, ces auteurs tirent les conclusions suivantes :

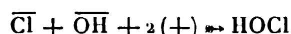
I. — Par l'électrolyse des solutions hydratées renfermant des ions chlore, ceux-ci se déchargent à l'anode et donnent du chlore libre

d'après l'équation



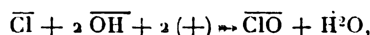
$$\overline{Cl} + \overline{Cl} + 2(+) \rightarrow Cl^2$$

II. — En outre, l'acide hypochloreux et l'hypochlorite se forment à l'anode soit par action primaire d'après les équations



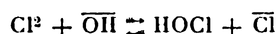
$$\overline{Cl} + \overline{OH} + 2(+) \rightarrow HOCl$$

et



$$\overline{Cl} + 2\,\overline{OH} + 2(+) \rightarrow \overline{ClO} + H^2O,$$

soit par l'action sur chlore libre sur les ions $\overline{OH}$ existant à l'anode, d'où résultent les états d'équilibre suivants



$$Cl^2 + \overline{OH} \rightleftarrows HOCl + \overline{Cl}$$

et



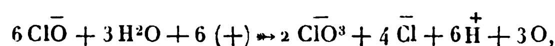
$$HOCl + \overline{OH} \rightleftarrows ClO + H^2O.$$

Lorsque le rapport des concentrations $\frac{OH}{\overline{Cl}}$ augmente à l'anode, celle-ci s'entoure abondamment d'ions $\overline{ClO}$. C'est le cas des solutions fortement alcalines ou étendues.

III. — L'hypochlorite se produit également dans l'électrolyte par l'action de l'alcali présent sur le chlore existant à l'anode.

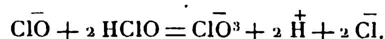
IV. — Comme les ions $\overline{ClO}$ se déchargent relativement plus facilement que les ions $\overline{Cl}$ et sont détruits par la décharge, l'hypochlorite peut ne pas paraître en grande quantité autour de l'anode. Plus il est éloigné de l'anode, plus il peut rester en liberté dans l'électrolyte. Cependant il y a une limite à la possibilité d'existence de l'hypochlorite dans une solution de chlorure traversée par le courant.

V. — Le chlorure et l'acide chlorique se forment par une action de décharge à l'anode, d'après l'équation



$$6\,Cl\bar{O} + 3\,H^2O + 6\,(+) \rightarrow 2\,Cl\bar{O}^3 + 4\,\bar{Cl} + 6\,\overset{+}{H} + 3\,O,$$

soit par l'action secondaire suivante ayant lieu dans l'électrolyte



$$Cl\bar{O} + 2\,HClO = Cl\bar{O}^3 + 2\,\overset{+}{H} + 2\,\bar{Cl}.$$

VI. — La formation anodique du chlorate a toujours lieu avec dégagement d'oxygène. Elle a pour condition une concentration des ions $\overline{ClO}$ qui correspond au potentiel anodique donné par la concentration du chlorure, l'alcalinité de la solution et la nature des électrodes.

VII. — Une quantité de $\overline{ClO}$ suffisante pour un potentiel déterminé peut naître directement à l'anode (solution étendue de chlorure ou fortement alcaline) ou encore provenir à l'anode de l'hypochlorite existant dans l'électrolyte. Dans le premier cas, le chlorate se forme dès le début de l'électrolyse du chlorure; dans le second cas, il ne se forme qu'après un certain temps d'électrolyse.

VIII. — En solution de chlorure fortement alcaline ou en solution neutre ou acide très étendue, le dégagement d'oxygène anodique provient de la décharge des ions $\overline{ClO}$ et aussi de celle des ions $\overline{OH}$.

IX. — La formation secondaire du chlorate se fait sans dégagement d'oxygène. Elle a lieu lorsque dans une grande partie de l'électrolyte l'acide hypochloreux libre peut exister à côté de l'hypochlorite, lorsque par conséquent, la solution de chlorure a éprouvé une faible acidification. Les faits les plus importants sur lesquels repose cette affirmation sont les faits suivants :

1° Par l'électrolyse d'acide chlorhydrique fort, le chlore libre prend naissance à côté de quantités extrêmement petites d'oxygène.

2° Avec une dilution croissante de l'acide chlorhydrique, le dégagement d'oxygène augmente, pendant que se produit simultanément l'acide chlorique (puis l'acide perchlorique).

3° En solution neutre de chlorure alcalin, la solution anodique se sature de chlore qui se dégage au début de l'électrolyse.

4° Dans l'acide chlorhydrique comme dans la solution neutre de chlorure, le potentiel anodique nécessaire pour l'électrolyse rapide est au moins celle que ces solutions, saturées de chlore, donnent à une électrode inattaquable.

5° En pratique, le potentiel anodique pendant l'électrolyse d'une solution neutre ne s'approche de cette valeur minima que par l'emploi de l'anode platinée au noir; avec l'anode polie, il y a une augmentation de tension de 0,56 volt et plus.

6° Si le mélange des solutions anodique et cathodique peut se faire librement, il en résulte une formation d'hypochlorite en solution neutre et il se trouve de l'acide hypochloreux au voisinage de l'anode. La concentration en hypochlorite s'élève d'abord, puis, après un certain temps, atteint une valeur constante, et c'est alors que le courant produit du chlorate pendant qu'il y a dégagement d'oxygène à l'anode.

7°. — La naissance de l'hypochlorite et le commencement de la formation du chlorate n'occasionnent à l'anode platinée aucune variation sensible du potentiel, si la densité du courant n'est pas trop élevée.

8°. — La concentration de l'hypochlorite, qui est atteinte dans une solution neutre de chlorure alcalin, est d'autant plus grande que la densité du courant et la concentration du chlorure sont plus élevées, et que la température est plus basse.

9°. — Par l'emploi d'une anode platinée, il se produit plus d'hypochlorite que lorsqu'on se sert d'une anode polie.

10°. — Le dégagement d'oxygène anodique et avec lui le rendement en chlorate dépendent à peine des conditions de l'essai dans le cas des solutions neutres de chlorure, pas trop étendues. Le dégagement d'oxygène correspond à peu près à un tiers, et la formation du chlorate à deux tiers de la quantité d'électricité.

11°. — Le dégagement d'oxygène devient plus faible si l'hypochlorite est réduit à la cathode ou s'il se transforme en chlorate par action secondaire dans l'électrolyte.

12° Dans les solutions très étendues de chlorure, le dégagement anodique d'oxygène dépasse de beaucoup le tiers de la quantité d'électricité.

13° L'utilisation d'anodes en charbon montre que la solution très étendue, existant dans les pores de l'anode, est électrolysée.

14° Si dans une solution neutre de chlorure, l'alcali à la cathode reste éloignée de la solution anodique, au chlore qui se dégage, il vient se mélanger des traces d'oxygène dans le cas d'un électrolyte concentré, et des quantités importantes de ce même gaz dans le cas d'un électrolyte étendu. En même temps, la solution anodique renferme de l'acide chlorhydrique libre en quantités correspondantes et il se forme du chlorate.

15° Si une partie seulement de l'alcali cathodique peut se mélanger à la lessive anodique, comme par exemple avec l'emploi de diaphragmes, il se produit ici de l'acide hypochloreux à côté du chlore libre.

16° Une faible acidification d'une solution de chlorure (addition d'un peu d'acide chlorhydrique, de bicarbonate, bichromate, production d'un diaphragme en chaux ou en magnésie sur la cathode, l'électrolyte renfermant du chlorure de calcium ou du chlorure de magnésium) détermine la formation secondaire du chlorate, diminue la teneur que peut atteindre l'hypochlorite ainsi que le dégagement d'oxygène et améliore le rendement en chlorate.

17° Dans une solution neutre qu'on acidifie après un certain temps d'électrolyse, lorsqu'on emploie l'anode platinée, la formation électrolytique de chlorate est voisine du rendement théorique.

18° L'addition d'alcali à une solution de chlorure diminue la valeur élevée qu'atteignait la concentration de l'hypochlorite.

19° En solution fortement alcaline, le potentiel anodique est limité par la tension nécessaire pour le dégagement anodique d'oxygène de l'hydrate alcalin, laquelle tension monte considérablement pendant une électrolyse.

20° Par le potentiel minimum nécessaire pour le dégagement d'oxygène de la solution alcaline normale, le courant produit simultanément dans le chlorure existant des traces d'hypochlorite.

21° Plus le potentiel anodique s'élève, plus l'électrolyse du chlorure se fait abondamment en solution alcaline normale, plus il se forme de chlorate au début, et moins il se produit d'hypochlorite.

L. Jumau.

DIVERS

Détermination du pouvoir inducteur spécifique des corps cristallisés à l'aide des ondes électriques, par W. Schmidt. *Drude's Annalen* t. XI, p. 114-127, mai 1903 (¹).

Les corps cristallisés réduits en poudre fine se comportent comme des corps homogènes et isotropes. Soit ε_m le pouvoir inducteur d'une telle poudre : ε_a, ε_b, ε_c les pouvoirs inducteurs suivant les trois directions principales :

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_b + \varepsilon_c}{3},$$

ou s'il s'agit d'un cristal uniaxe :

$$\varepsilon_m = \frac{\varepsilon_a + 2\varepsilon_c}{3}$$

ε_a, ε_c se rapportant respectivement à la direction de l'axe et à la direction perpendiculaire.

(¹) Cf. *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 31, avril 1903.

Cette relation permet de calculer en fonction de ε_m et de deux (ou d'un) des coefficients principaux, l'autre coefficient principal.

Si on compare le pouvoir inducteur ε à l'indice de réfraction n_∞ calculé d'après la formule de dispersion de Helmholtz pour une longueur d'onde infinie, on trouve pour les corps simples les résultats ci-dessous :

	ε	n^2_∞
Soufre	3,59	3,59
	3,83	3,89
	4,62	4,60
Diamant	5,50	5,66
Phosphore blanc	3,60	4,22
Sélénium vitreux	6,60	6,02
Iode	4,00	?

La présence du plomb dans les minéraux provoque une très grande augmentation du pouvoir inducteur ; de même que l'augmentation de l'indice dans les verres. Les verres contenant du thallium sont aussi très réfringents : les composés du thallium possèdent également un pouvoir inducteur considérable.

Les oxydes de titane naturel (rutile, brookite), ont un pouvoir inducteur très élevé, tandis que celui des oxydes artificiels est beaucoup plus petit.

Si les impuretés n'exercent pas d'influence sensible sur le pouvoir inducteur, presque toujours elles provoquent une absorption des ondes électriques. M. L.

Effets magnétiques de la convection électrique, par **A. Eichenwald**. *Drude's Annalen*. t. XI, p. 1-31, mai 1903.

Ces expériences se rattachent à celles de Rowland.

Des disques portant des armatures annulaires en clinquant sont chargés et mis en rotation rapide.

Un système astatique est placé au voisinage du bord de ces disques. On compare la déviation produite sur ce système par le mouvement des disques chargés à la déviation produite par un courant constant passant dans les mêmes armatures.

La mesure est ainsi indépendante de la sensibilité du système astatique, à cela près que cette sensibilité n'est pas tout à fait la même quand les disques sont en repos et qu'ils sont en mouvement.

On peut éliminer l'influence de cette variation de sensibilité en comparant successivement les deux déviations à celle que produit un courant auxiliaire fixe.

Les perturbations d'origine électrostatique ou mécanique sont éliminées par la construction de l'appareil. D'autres erreurs peuvent provenir des courants de Foucault et des courants thermo-électriques.

Les courants de Foucault se produiraient quand des pièces de l'appareil, accidentellement magnétiques, se déplaceraient sous l'influence du mouvement des pièces mobiles. Les courants thermo-électriques seraient provoqués par l'échauffement des pièces frottantes. Le cas échéant ces courants peuvent exercer sur l'équipage astatique une action supérieure à celle du courant de convection.

Ces causes d'erreur sont indépendantes du sens de la rotation et du signe de la charge et sont fonctions de la vitesse.

Une autre cause d'erreur réside dans la déperdition qui se produit par les aspérités même imperceptibles des armatures ; son effet varie avec le signe de la charge, mais ne dépend pas de la vitesse ni du sens de la rotation.

M. Eichenwald conclut à l'existence de l'effet magnétique de la convection. Il a observé également les courants de conduction produits par ces courants de convection dans une armature enveloppant seulement une partie du disque.

D'après lui, les charges électriques sont liées à la matière et les charges des deux armatures d'un condensateur se déplacent tout à fait indépendamment l'une de l'autre [1]. M. L.

---

[1] Pas plus que les autres expériences, celles de M. Eichenwald n'apportent de solution définitive.

Aucune conclusion ne s'impose par des mesures où l'effet des causes d'erreur atteint ou dépasse même l'ordre de grandeur de l'effet cherché.

Les physiciens qui se sont voués à l'étude de cette question ont fait preuve d'une grande ingéniosité : mais il ne semble pas que le résultat soit en rapport avec l'effort accompli. La discussion et l'interprétation de leurs observations traduit souvent plutôt leurs secrètes préférences que les faits eux-mêmes. M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE PHYSIQUE

Séance du vendredi 5 mai 1903.

M. Cotton présente au nom de M. **Pierre Weiss** un ***Fréquencemètre*** donnant la fréquence d'un courant alternatif par la résonance d'une corde vibrante de tension variable. Cette corde est un fil de fer dont le milieu est voisin des pôles d'un petit électro-aimant parcouru par le courant dont on cherche la fréquence.

La tension de la corde se compose d'une partie constante fournie par le poids d'un levier coudé à l'un des bras duquel l'une des extrémités de la corde est fixée, et d'une partie variable, obtenue au moyen d'un ressort que l'on tend du même mouvement qui déplace une aiguille devant un cadran gradué en fréquences. Au moment où le nombre de vibrations de la corde est double de la fréquence. la résonance se produit brusquement et s'apprécie par l'amplitude facilement visible des vibrations.

Dans le modèle actuel la graduation va de 40 à 60 périodes par seconde, et l'on détermine sans peine, et instantanément, la fréquence à un dixième de fréquence près.

Séance du vendredi 5 juin 1903.

M. **G. Richard** parle avec une compétence bien connue de nos lecteurs, des ***machines-outils électriques***.

Pour traiter la question dans son ensemble, il faudrait faire un parallèle entre les trois systèmes : continu, alternatif, polyphasé ; M. G. Richard laisse de côté ce point de vue en indiquant seulement qu'actuellement la dynamo à courant continu domine encore, d'abord parce qu'elle est la plus ancienne, ensuite parce qu'on l'arrête, qu'on l'accélère ou qu'on la renverse avec la plus grande facilité. Cependant tout porte à croire que l'alternatif et le polyphasé prendront le dessus, dans un avenir prochain. Une des raisons qui prévalent dans le choix est d'ailleurs accessoire ; presque tous les ateliers sont aujourd'hui éclairés électriquement et l'on cherche naturellement à unifier la production de l'énergie électrique qui doit servir à l'éclairage et à la force motrice.

M. Richard veut traiter surtout des avantages que présente l'application de l'électricité aux machines-outils. Ces avantages sont de diverses sortes. L'atelier prend un aspect de simplification frappant ; débarrassé de ses transmissions, il paraît plus clair, plus net, plus propre et plus sûr, car si la courroie est l'un des mécanismes les plus simples, c'est aussi l'un des plus dangereux. Le problème de l'organisation des ateliers se simplifie ; dans l'ancien atelier, organisé en vue d'un certain travail, il est difficile, une fois l'installation complète achevée, de réparer les erreurs qui ont pu être commises ; puis, quand le travail est achevé, il est également malaisé d'approprier l'installation à un but nouveau ; l'extension même du travail, si elle se produit, ne va pas sans difficulté ; l'atelier se présente comme un cadre rigide, très difficile à reformer. Au contraire, si les machines sont mues électriquement, elles acquièrent une indépendance, une autonomie qui se prête à toutes les modifications. Enfin, dans certains cas, l'emploi de l'électricité permet une économie notable de combustible ; c'est le cas, de plus en plus fréquent grâce à la décentralisation de l'industrie, où l'on utilise une chute d'eau peu éloignée de l'usine. D'ailleurs, il y a toujours économie ; ceci peut sembler paradoxal, puisque la seule transmission mécanique est remplacée par *deux* intermédiaires, génératrice et moteur, mais il ne faut pas oublier que la transmission électrique ne dépense guère d'énergie que proportionnellement au travail utile, tandis que la transmission mécanique doit fonctionner sans cesse, alors qu'un tiers ou la moitié à peine des machines est en plein travail simultanément ; il n'est pas rare dans ces conditions que les frottements absorbent 50 ou 60 p. 100 du travail total. D'ailleurs, pour ne rien exagérer, il convient d'ajouter que la dépense de combustible, sur laquelle on réalise l'économie, n'entre généralement que pour 3 ou 4 p. 100 dans les dépenses totales.

Ces avantages n'apparaissent pas à M. Richard comme les principaux ; l'indépendance des machines-outils, dont on a fait déjà ressortir l'utilité, a une qualité beaucoup plus précieuse, elle semble fournir la seule solution du problème qui se pose aujourd'hui dans presque tous les ateliers de construction. On a très sou-

vent à manipuler de très grosses pièces qui doivent être successivement percées, sciées, alésées, etc. Autrefois il n'y avait que deux manières de faire : ou bien on transportait successivement la pièce d'une machine à l'autre, manipulation lente et dangereuse qui nécessite chaque fois un repérage difficile et long, qu'il est essentiel d'exécuter avec beaucoup de précision pour que les travaux des différentes machines n'interfèrent pas et qui ne peut jamais être assez parfait pour ne pas comporter d'erreurs et nécessiter des retouches. Une autre solution consistait à construire, en vue de la fabrication de ces grandes pièces, de grandes machines spéciales capables d'effectuer, sans être déplacées, un grand nombre de travaux, mais qui ont le très grand défaut d'être très coûteuses, encombrantes et de risquer d'être inutilisables dès que le travail particulier en vue duquel elles ont été construites est achevé. Avec la machine-outil électrique les choses se simplifient ; le sol de l'atelier est constitué par une plaque de fonte de très grande longueur, sillonnée de rainures ou l'on fixe toutes les machines et toutes les pièces possible ; au-dessus un réseau de ponts roulants et de treuils permet d'amener la pièce à travailler et de placer où l'on veut toutes les machines-outils, lesquelles pourront servir indéfiniment à d'autres travaux et constituent par suite un capital d'un excellent rendement. L'atelier est désormais propre à tout exécuter sans organisation nouvelle, il est devenu, suivant le mot de M. G. Richard, un atelier *élastique*.

M. G. Richard fait défiler une série de photographies, projetées par M. Pellin, qui représentent des machines-outils électriques ; un gros tour transformé ; un gros tour à revolver ; un tour ordinaire sur le chariot duquel on a monté une dynamo portant une scie ; une perceuse radiale avec dynamo dans le prolongement de son banc ; une perceuse adaptée plus entièrement et conduite par une dynamo placée dans le prolongement de la colonne ; une perceuse avec dynamo à l'extrémité d'un bras équilibrant l'autre partie qui porte l'outil ; une perceuse multiple destinée aux rivures de chaudières, chaque dynamo se trouve derrière sa colonne ; une perceuse demi portative ; une perceuse mobile sur roues ; une petite perceuse rotative fonctionnant à l'intérieur d'une chaudière marine ; une machine destinée à la réfection des tôles de navire dans les cales, elle s'accroche à la tôle par ses électro-aimants ; une machine transportable pour aléser les trous des frettes des arbres de machines marines ; un machine rabotant les chemins de roulement dans les tourelles des cuirassés, montées en place sur le navire ; une grande perceuse servant également à l'alésage ; une machine à scier les plaques de blindage : une dynamo meut la scie et une autre fait avancer les plaques ; une meule destinée à aléser une plaque de blindage ; une grande cisaille ; une petite machine à travailler les anneaux de dynamo. Puis M. Richard montre un atelier moderne (de la *General Electric Company*) agencé comme il l'a décrit plus haut où l'on voit travailler un stator de 12 m de diamètre, sur lequel les mortaiseuses sont repérées au moyen d'un théodolite central, ainsi que les machines à percer ; l'élasticité du procédé se révèle particulièrement sur une photographie qui montre le travail d'un rotor de moyennes dimensions en voie d'exécution, pendant qu'un autre rotor assez grand pour entourer de très loin le premier, attend déjà en place l'attaque des machines-outils.

M. Wladimir de Nicolaïève présente quelques expériences ***sur le champ électrostationnaire dans les électrolytes***.

Deux armatures métalliques électrisées en sens contraire et plongées dans une électrolyte tendront à s'attirer comme si elles étaient dans l'air, puisqu'il existe des tubes de Faraday allant de l'une à l'autre ; mais dans un électrolyte même aussi peu conducteur que l'eau distillée, la mobilité des ions est suffisante pour qu'un de ces tubes ne puisse exister plus de $\frac{1}{10^6}$ seconde. Cependant d'autres tubes se reforment sans cesse et l'on a, sinon un champ électrostatique, du moins un champ *électrostationnaire*.

M. W. de Nicolaïève rappelle d'abord comment s'expliquent dans la théorie des tubes de Faraday, les attractions électrostatiques entre deux boules chargées dans l'air et indique que si l'on coupait une partie des tubes qui vont de l'une à l'autre on donnerait à l'ensemble un mouvement perpendiculaire à la ligne des centres, qu'on pourrait aussi, dans certaines conditions, changer l'attraction en répulsion. Il examine ce qui se passe dans le cas d'un diélectrique hétérogène ; la pression normale à la sur-

face de séparation serait discontinue si la répartition des tubes ne se modifiait pas quand on substitue à un certain volume un diélectrique de pouvoir inducteur différent ; il y a donc un mouvement, ce qui explique les expériences de Quincke.

Dans les expériences mêmes de M. de Nicolaïeve, d'étroites lames d'étain verticales, suspendues par leur extrémité supérieure, sont placées aux bornes d'un transformateur qui donne une tension de 15 000 volts ; l'expérience peut d'ailleurs, paraît-il, réussir avec une tension continue et beaucoup plus basse. Les bandes d'étain plongent dans l'eau distillée ; le verre des vases ayant une constante diélectrique environ 11 ou 12 fois plus faible que l'eau, on peut admettre que les tubes de Faraday qui vont d'une lame à l'autre ne le traversent pas. Dans une première expérience une paroi verticale du vase où plongent les bandes et une lame de verre verticale contenue dans ce vase, présentent en section horizontale la forme d'un T ; les bandes d'étain sont dans le même plan, sous les bras du T et parallèle à la paroi ; quand on les charge elles se courbent de façon à se rapprocher de la base du T, raccourcissant ainsi les tubes de force qui les réunissent et qui s'appuient sur cette base. Dans une seconde expérience, le T est formé par deux lames auxiliaires plongées dans le vase ; les deux bandes sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux bras du T ; les tubes de Faraday peuvent aller de l'une à l'autre en contournant ces bras ; quand on charge, les bandes se courbent, de façon que leurs bases s'éloignent et dépassent l'extrémité des bras ; alors elles tendent à se rapprocher en tournant autour de ces bras. Enfin dans un troisième dispositif, les deux bandes d'étain sont rendues solidaires par des bandes de mica qui les maintiennent dans un même plan ; si on les place au voisinage d'une paroi de verre elles s'en éloignent par suite de la répulsion des tubes de Faraday ; inversement si deux électrodes rigides (deux fils de cuivres) sont plongées dans un vase plein d'eau distillée et flottant sur un liquide, on voit ce vase se déplacer jusqu'à ce qu'il occupe une position symétrique.

M. Sagnac parle de ***La longueur d'onde des rayons N de M. Blondlot***. Il rappelle que dans la précédente séance, il a fait la théorie de la diffraction par une ouverture circulaire et signalé une erreur de la théorie classique. Cette théorie faisant dépendre l'existence des maxima uniquement des zones d'Huygens en négligeant la variation d'amplitude avec la distance, conduirait à admettre que si le maximum principal qui correspond à l'image réelle d'un point lumineux donnée par une lentille convergente de rayon s est à une distance R de cette lentille, les distances r des maxima suivants sont données par la formule $\frac{s^2}{2}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{r}\right)=h\frac{\lambda}{2}$ dans laquelle h peut prendre les valeurs 1, 3, 5, tandis qu'en réalité la discussion des formules montre que le premier terme manque et que les distances sont entre elles comme 3, 5, 7, etc. Cette remarque fournit une explication très satisfaisante d'une expérience de M. Blondlot.

Les rayons N émis par les corps incandescents, platine, bec Auer, qui traversent les métaux et le bois comme les rayons X, se réfractent avec un indice beaucoup plus grand que celui de toutes les radiations connues. En formant une image réelle d'une source de rayons N, M. Blondlot a observé, outre un foyer intense, correspondant à un indice $N = 2{,}942$, trois autres foyers qui, par l'application de la formule des lentilles, lui ont permis de calculer les indices $n_1 = 2{,}620$; $n_2 = 2{,}436$; $n_3 = 2{,}29$. M. Sagnac pense qn'il ne s'agit en réalité que d'une radiation sensiblement homogène et que les foyers secondaires sont en réalité dus à la diffraction. Pour le vérifier, il faut calculer $\frac{1}{R} - \frac{1}{r}$ pour les trois maxima secondaires ; en appelant R_0 la distance de la source à la lentille, M. Blondlot a déterminé chaque indice par la formule

$$\frac{1}{R_0}+\frac{1}{r}=(n-1)\,K$$

K étant une constante de la lentille. La comparaison avec l'équation correspondant au foyer principal (R, N), donne :

$$\frac{1}{R}-\frac{1}{r}=(N-n)\,K.$$

Si la théorie de M. Sagnac est vraie, les trois valeurs de $N-n$ doivent être proportionnelles, non à 1, 3, 5, mais à 3, 5, 7. En fait les quotients des trois différences respectivement par

1, 3, 5 et 3, 5, 7 sont respectivement :

0,322	0,107
0,169	0,101
0,130	0,093

Les nombres de la seconde colonne sont sensiblement égaux. M. Blondlot semble donc avoir eu affaire à une seule radiation ; ce qu'il s'agirait d'expliquer, c'est alors l'existence de cette émission sensiblement monochromatique, au moins en apparence. M. Sagnac pense que ce résultat tient à la nature de l'étincelle révélatrice, qui fonctionnerait comme un résonateur avec une période bien déterminée.

Quant à la longueur d'onde, elle ne peut être calculée au moyen des données que M. Blondlot a fait connaître ; si l'on admet pour le rayon du diaphragme de la lentille 2 cm, on trouve $\lambda = 0,2$ mm ; en admettant 4 cm, on trouverait 1 mm. La vraie longueur d'onde est certainement voisine de ces nombres et les radiations se classeraient entre celles de M. Rubens et ($\lambda = 0,06$ mm) et les vibrations hertziennes obtenues par M. Lampa ($\lambda = 4$ mm).

M. H. Poincaré fait connaître que M. Blondlot a observé des foyers entre le foyer principal et la lentille, ce qui est en parfait accord avec la théorie de M. Sagnac. Il expliquerait le monochromatisme par l'existence d'une bande étroite de transparence du quartz. Enfin M. Blondlot a pensé que les rayons N devaient être placés dans l'infrarouge, depuis qu'il a constaté que les corps fibreux leur faisaient subir la double réfraction, découverte qui a suivi immédiatement celle de la réfraction simple.

C. R.

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 11 mai 1903.

Nouvelles études sur une loi relative aux forces électromotrices développées par les actions réciproques des dissolutions salines, par **M. Berthelot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1109—1118.

L'auteur a poursuivi ses recherches sur la relation qui existe entre la force électromotrice développée par l'action d'un acide sur une base (E) et les forces développées par l'action du sel correspondant, d'une part, sur l'acide (ε_1) et d'autre part, sur la base (ε_2). Il avait établi précédemment par des mesures exécutées sur des électrodes impolarisables, que l'on a sensiblement

$$E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2,$$

relation dont on ne trouve aucune mention soit expérimentale, soit déduite par le calcul, dans les Traités de Chimie et d'Electrochimie les plus modernes et les plus réputés, tels que ceux d'Arrhénius et de Nernst.

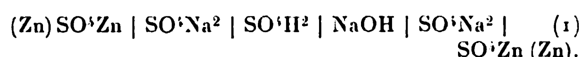
Ces expériences ont été exécutées avec des dissolutions étendues, contenant des poids *équivalents* de chaque corps, dissous dans un même volume de liqueur aqueuse. Elles ont permis à M. Berthelot de constater l'existence de la loi sur dix acides et deux bases (soude et ammoniaque) différents et d'établir qu'elle est applicable à froid et à des températures élevées. La démonstration a été exécutée avec des chaînes de six vases, avec électrodes impolarisables ; les ions étant les mêmes dans les vases intermédiaires, ou bien encore étant dissemblables. Elle a vérifié en outre, par ses concordances multipliées dans les nombreux cas précités, l'exactitude numérique des déterminations expérimentales faites antérieurement sur les systèmes binaires, avec électrodes de platine.

M. Berthelot vient de poursuivre cette démonstration, à ce double point de vue, par de nouvelles expériences, exécutées les unes avec des éléments de pile constitués, comme plus haut, par six vases emboîtés ou consécutifs, à électrodes impolarisables ; les autres avec des éléments binaires, à électrodes de métaux différents : platine, mercure, palladium, argent, plomb, cuivre, zinc, aluminium, étain, fer, etc., électrodes, identiques aux deux pôles. Voici quelques-unes de ces expériences détachées d'un ensemble beaucoup plus considérable, où figurent plus d'un millier de systèmes de piles, constitués par les corps suivants : SO^4H^2, NaOH, SO^4Na^2, SO^4Zn, SO^4Cu, envisagés séparément, ou associés 2 à 2, 3 à 3, 4 à 4 ; chaque système étant étudié avec neuf combinaisons d'électrodes métalliques, zinc, cuivre, platine.

I. — Dans les éléments de pile constitués par six vases différents, concentriques ou consécutifs [1], concourent les trois forces électromotrices E, ε_1, ε_2. Tel était l'un des éléments impo-

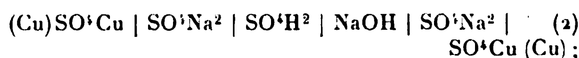
[1] *Comptes rendus*, t. CXXXIV, 16 février 1903, p. 415.

larisables étudiés dans un précédent Mémoire :



$(Zn)SO^4Zn \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Zn\,(Zn)$. (1)

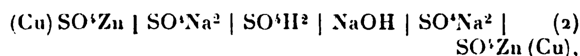
Depuis M. Berthelot a examiné les éléments que voici :



$(Cu)SO^4Cu \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Cu\,(Cu)$; (2)

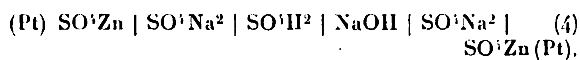
$E = 0{,}002$ volt : Système impolarisable ;

puis les systèmes suivants, susceptibles de polarisation, mais qui ne vérifient pas moins la loi : à la condition d'opérer les mesures au bout de quelques minutes, intervalle de temps nécessaire pour l'imbibition des vases poreux. Il est bien entendu que le circuit demeure ouvert, à l'exception des quelques secondes nécessaires pour l'exécution des mesures. Dans ces conditions, les effets de la polarisation sont d'ordinaire à peu près nuls, comme on le sait d'ailleurs d'après la longue pratique des physiciens.



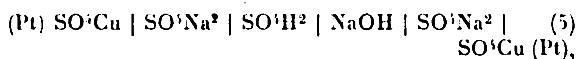
$(Cu)\,SO^4Zn \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Zn\,(Cu)$, (2)

$E = 0{,}005$ volt, après quelque temps.



$(Pt)\;SO^4Zn \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Zn\,(Pt)$. (4)

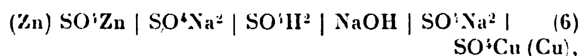
$E = 0{,}01$ volt



$(Pt)\;SO^4Cu \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Cu\,(Pt)$, (5)

$E = 0{,}015$ volt.

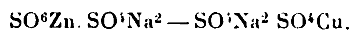
Voici encore un élément impolarisable, avec deux électrodes métalliques différentes, et par suite une grande inégalité de potentiel.



$(Zn)\;SO^4Zn \mid SO^4Na^2 \mid SO^4H^2 \mid NaOH \mid SO^4Na^2 \mid SO^4Cu\,(Cu)$, (6)

$E = 1{,}11$ volt.

C'est sensiblement la force électromotrice de l'élément Daniell ; concordance qui démontre la compensation des forces résultant du contact des liquides intermédiaires. Cette compensation comprend d'ailleurs, dans le cas actuel, en même temps que celle exprimée par l'équation $E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, la différence électrique entre les deux contacts



$SO^6Zn.\,SO^4Na^2 - SO^4Na^2\,SO^4Cu.$

II. Dans les recherches antérieures de M. Berthelot sur les piles terminées par deux électrodes de platine, au contact de l'air atmosphérique, la plupart des résultats avaient été exécutés et imprimés, avant qu'il eût aperçu la loi actuelle, c'est-à-dire en dehors de toute vue préconçue ; ce qui leur donne une signification toute particulière. Or ils ont fourni des valeurs individuelles de E, ε_1 ε_2, conforme à la relation $E = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, établie depuis par une méthode plus rigoureuse. Elles sont donc bien, d'une façon générale, à peu près indépendantes des perturbations attribuables à la polarisation, à la diffusion des liquides, etc.

Les nouvelles observations prouvent que la même relation existe entre les trois valeurs déterminées avec des électrodes de mercure, argent, zinc, plomb, cuivre, étain, aluminium, fer, palladium, etc. Ces métaux doivent être employés aussi purs que possible, — pour éviter les complications attribuables aux impuretés, — débarrassés de toute trace de corps gras ou autre matière organique, décapés et nettoyés avec soin au moment de l'expérience.

Voici les résultats des mesures exécutées, comme toujours, en fermant le circuit pendant un intervalle de quelques secondes, après avoir laissé l'imbibition du vase poreux et le contact des liquides s'établir convenablement pendant 10 à 20 minutes.

1. *Electrodes de platines.* — Il a été montré (*Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 413-425) que la loi se vérifiait d'une manière générale.

2. *Electrodes de mercure :*

$SO^4H^2 + NaOH$ / SO^4H^2 pôle +	0,38 volt	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ / SO^4H^2 pôle +	0,04 volt	(2)
$SO^4Na^2 + NaOH$ / SO^4Na^2 pôle +	0,33 volt	(3)

Les pôles sont ici distribués comme avec les électrodes de platine. D'où il résulte

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 0{,}33 + 0\;04 = 0{,}37.$$

valeur sensiblement égale à $E = 0{,}58$.

3. *Electrodes de cuivre.* — Deux expériences faites avec des éléments différents et à des époques distinctes :

	Première expérience volt	Deuxième expérience volt	
SO^4H^2 (1 mol. = 4 l) + 2 NaOH (1 équiv. = 2 l) SO^4H^2 pôle +	0,13	0,16	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ (1 mol. = 2 l) SO^4Na^2 pôle +	0,02	0,02	(2)
$NaOH + SO^4Na^2$ SO^4Na^2 pôle +	0,16	0,19	(3)

D'après ces indications, il y a inversion de l'élément (1), comparé avec l'élément à électrode de platine. Si l'on associe les éléments (2) et (3), les forces électromotrices seront de signe contraire, leur somme algébrique $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ étant $0,16 - 0,02 = 0,14$ et $0,19 - 0,02 = 0,17$; valeurs sensiblement égales respectivement aux valeurs de (1) : $E = 0,13$ et $0,16$.

4. *Electrodes de zinc* (amalgamé) :

	Première expérience volt	Deuxième expérience volt	
$SO^4H^2 + NaOH$ SO^4H^2 pôle + . . .	0,23	0,25	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ SO^4Na^2 pôle + . .	0,11	0,095	(2)
$NaOH + SO^4Na^2$ SO^4Na^2 pôle + . .	0,34	0,34	(3)

Il y a ici opposition des pôles, comme avec les électrodes de cuivre. Par conséquent, $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = 0,34 - 0,11 = 0,23$ et $0,34 - 0,10 = 0,24$; valeurs sensiblement également respectivement aux valeurs de $E = 0,23$ et $0,25$,

Dans le système actuel, il convient d'observer qu'il peut y avoir réaction du métal sur l'acide, surtout avec le concours de l'oxygène de l'air ; c'est-à-dire que les éléments sont susceptibles d'être polarisés rapidement; les valeurs précédentes répondent au début des phénomènes.

Avec les électrodes de cuivre, on peut observer que l'attaque du métal est susceptible également de se produire lentement, lorsqu'on opère au contact de l'air, lequel concourt avec l'acide pour déterminer la réaction chimique. Au contraire, avec les électrodes de platine, le métal n'est pas attaqué par l'acide, même au contact de l'air. Avec les électrodes de mercure, cette attaque est excessivement lente.

Ce sont ces circonstances qui déterminent l'inversion des pôles de l'élément (2) avec les électrodes de cuivre, de zinc, etc., comparés au même élément avec électrodes de platine ou de mercure.

Au contraire, les pôles des éléments (1) et (2) demeurent les mêmes avec les trois systèmes d'électrodes.

5. *Electrodes de plomb.* — Deux expériences faites avec des éléments différents et à des époques distinctes :

	Première expérience. volt	Deuxiéme expérience. volt	
$SO^4H^2 + NaOH$ / SO^4H^2 pôle + . . .	0,14	0,14	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + . . .	0,02	0,05	(2)
$SO^4Na^2 + NaOH$ / SO^4Na^2 pôle + . . .	0,16	0,18	(3)

Il y a inversion de l'élément (2) par rapport aux électrodes de platine. Dès lors avec le plomb les éléments (2) et (3) ont des forces électromotrices de signe contraire, leur somme algébrique respective $\varepsilon_1 + \varepsilon_2$ étant $0,16 - 0,02 = 0,14$ dans la première expérience; $0,18 - 0,05 = 0,13$ dans la seconde expérience; c'est-à-dire sensiblement égale à la valeur de (1) : $E = 0,14$.

6. *Électrodes d'argent* :

	Première expérience. volt	Deuxième expérience. volt	
$SO^4H^2 + NaOH +$ / SO^4H^2 pôle + . . .	0,06	0,07	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + . . .	0,05	0,05	(2)
$NaOH + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + . . .	0,10	0,10	(3)

$$0,10 - 0,05 = 0,05,$$

valeur voisine de 0,06 et 0,07. Observations analogues aux précédentes.

7. *Électrodes d'étain* :

	volt	
$SO^4H^2 + NaOH$ / SO^4H^2 pôle + ...	0,48	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + ...	0,06	(2)
$NaOH + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + ...	0,58	(3)

L'élément (2) étant interverti, on fait le calcul comme avec le zinc :

$$0,58 - 0,06 = 0,52.$$

valeur qui ne s'écartent guère de 0,48 ; c'est-à-dire que la loi est vérifiée dans les limites ordinaires.

8. L'or a donné des inversions de pôles, irrégulières et discordantes, dans quatre essais exécutés avec soin. Les motifs de ces divergences ne sont pas indiqués dans le mémoire.

9. *Electrodes de palladium* :

	volt	
$SO^4H^2 + NaOH$ / SO^4H^2 pôle + ...	0,66	(1)
$SO^4H^2 + SO^4Na^2$ / SO^4H^2 pôle + ...	0,56	(2)
$NaOH + SO^4Na^2$ / SO^4Na^2 pôle + ...	0,20	(3)

La différence entre 0,66 et la somme 0,56 + 0,20 = 0,76 est un peu forte ; mais dans le sens voulu. On remarquera que la force électromotrice de l'élément (1) est presque la même avec des électrodes de platine.

10. — *Electrodes d'aluminium* :

	volt	
SO^4H^2 + NaOH / SO^4H^2 pôle +	1,14	(1)
SO^4H^2 + SO^4Na^2 / SO^4H^2 pôle +	0,18	(2)
NaOH + SO^4Na^2 / SO^4Na^2 pôle +	0,96	(3)

0,96 + 0,18 = 1,14, ce qui vérifie la loi.

Si l'on attend 1 heure (à circuit ouvert), on constate ensuite, en fermant pendant un instant qu'il y a inversion de l'élément (2), dont la force est devenue 0,06 ; tandis que l'attaque de l'aluminium (avec dégagement visible de gaz) par la solution de soude accroît la force de l'élément (3), qui devient 1,33 ; ainsi que celle de l'élément (1) qui devient 1,22. A ce moment, on devrait faire le calcul comme avec le zinc : 1,33 — 0,06 = 1,57 : valeur voisine en effet de 1,22.

Avec les électrodes d'aluminium on réaliserait donc, suivant la période de l'expérience, soit le même calcul qu'avec le platine, soit le même calcul qu'avec le zinc. Mais le calcul relatif au dernier cas est moins certain pour l'aluminium, la composition des liquides ayant été modifiée par l'effet prolongé de l'endosmose à travers les vases poreux.

11. *Electrodes de nickel* :

	volt	
SO^4H^2 + NaOH / SO^4H^2 pôle +	0,011	(1)
SO^4H^2 + SO^4Na^2 / SO^4Na^2 pôle +	0,002	(2)
NaOH + SO^4H^2 / SO^4Na^2 pôle +	0,03	(3)

On a

0,011 — (0,03 — 0,002 = 0,028), soit — 0,017

ce qui vérifie la loi ; sauf réserve, à cause de la petitesse des nombres observés. D'ailleurs, si l'on attend trop longtemps avant de fermer le circuit pour faire les mesures, les pôles de l'élément (1) s'intervertissent. Je donne cependant ces résultats pour ne rien omettre des mesures observées. Il est difficile d'ailleurs d'avoir du nickel bien pur.

Avec les métaux qui suivent, l'inversion des pôles pour l'élément (1) se produit dès le début. Voici les chiffres obtenus

12. *Electrodes de cadmium :*

	Première expérience. volt	Deuxième expérience. volt	
SO^4H^2 + NaOH / NaOH pôle +	0,09	0,045	(1)
SO^4H^2 + SO^4Na^2 / SO^4Na^2 pôle +	0,055	0,049	(2)
NaOH + SO^4Na^2 / NaOH pôle +	0,02	0,002	(3)

On a dès lors (première expérience) :

0,09 — 0,075 = 0,015 et 0,045 — 0,051 = — 0,006,

valeurs approximativement conformes à la loi.

Les électrodes de cadmium et de nickel ont donné des résultats sujets à discussion, à cause de la polarisation presque immédiate des éléments de pile constitués par la réduction de l'acide sur la base : polarisation résultant de l'attaque du métal par l'acide et qui se traduit par l'inversion des pôles de l'élément (1).

Le pôle positif de cet élément, au lieu de répondre à l'acide sulfurique — ce qui est normal, — répond alors à la soude.

13 *Electrodes de fer.* — Métal doux ; bien décapé, brillant.

	volt	
SO^4H^2 + NaOH / NaOH pôle +	0,295	(1)
SO^4H^2 + SO^4Na^2 / SO^4Na^2 pôle +	0,12	(2)
NaOH + SO^4Na^2 / NaOH pôle +	0,185	(3)

ce qui donne :

0,295 — (0,12 + 0,185) = — 0,01.

Loi vérifiée, malgré l'inversion des pôles.

En fait, dans les éléments de pile résultant de la réaction de l'acide sur la base, si l'on emploie des électrodes constituées par les métaux précédents, autres que le fer, le cadmium et le nickel, ces électrodes conservent le signe prévu d'après les fonctions respectives de l'acide et de la base : lors des électrolyses, l'électrode plongée dans l'acide, qui joue le rôle électronégatif, forme le pôle positif ; tandis que la base, qui joue le rôle électropositif, reprend l'électrode du pôle négatif. C'est donc le rapport normal.

III. M. Berthelot rappelle ici une relation générale et dont il paraît difficile de méconnaître la signification théorique. D'après les déterminations exécutées sur dix acides différents et deux bases solubles distinctes (soude et ammoniaque), constituant des éléments de pile avec électrodes de platine, au contact de l'air, les forces électromotrices de l'élément de pile constitué par la réaction de l'acide sur la base offrent des valeurs bien définies [1], analogues pour les corps de même fonction chimique, et, dans tous les cas, voisines des chiffres calculés d'après les chaleurs de neutralisation : les écarts sont faibles et attribuables au terme correctif d'Helmholtz [2].

Toutefois, de semblables relations entre les forces électromotrices et les chaleurs des réactions accomplies dans la pile sont applicables seulement aux cas où ces réactions sont la source principale de l'énergie électrique. Elles cessent d'être observées pour les piles d'un autre ordre, telles que celles où un sel est opposé soit à l'acide soit à la base, qui ont concouru à le former.

Remarquons d'ailleurs cette circonstance essentielle, à savoir que le siège de l'action chimique qui entretient le courant électrique dans une pile fondée sur la combinaison d'un acide avec une base est distinct du lieu où l'on constate l'inégalité de potentiel, l'action chimique s'exerçant à la surface de contact des deux liquides, c'est-à-dire dans le vase poreux ; tandis que l'électricité se manifeste sur les électrodes. Dans les piles ordinaires, fondées sur l'oxydation des métaux, le siège de l'action chimique et de l'action électrique est au contraire le même.

Ceci amène M. Berthelot à envisager un autre ordre de considérations, relatives au travail extérieur, électrolytique ou autre, que les piles sont susceptibles de fournir. Il ne s'agit plus ici d'une simple différence électrique entre deux systèmes, mais de la production continue d'une certaine énergie. Or cette production ne peut avoir lieu, avec intensité, que si l'électricité est fournie : soit par la transformation d'un travail mécanique, tel que celui qui meut les dynamos; soit par un travail calorifique, tel que celui des piles thermo-électriques; soit par un travail chimique, tel que celui des oxydations de métaux (pile Bunsen, pile à bichromate), ou celui de la neutralisation des acides et des bases, ou des oxydations de corps dissous, comme dans les expériences qu'il poursuit.

Une différence électrique entretenue par des phénomènes de simple diffusion de liquides, de dissolution de gaz, ou tous autres où l'énergie serait empruntée aux milieux ambiants, sans combinaison chimique proprement dite — comme il arrive dans les phénomènes de fusion, ou d'évaporation, ou bien encore dans les effets de dissociation, — est insuffisante pour entretenir les éléments de pile destinés à développer rapidement un travail extérieur continu. Dans les effets de cet ordre, le renouvellement de l'énergie ne se produirait que d'une façon lente. Or, tel est précisément le cas des éléments de pile constitués par l'association d'un sel, soit avec son acide générateur, soit avec sa base ; ces différents corps étant mis en œuvre au sein de dissolutions étendues. La force électromotrice résultant de leur réaction n'est donc pas attribuable, au moins pour sa valeur principale, à une combinaison chimique exothermique.

La loi de M. Berthelot met en pleine évidence les différences fondamentales ainsi prévues et qui peuvent exister, au point de vue des travaux extérieurs d'électrolyse ou autres, entre les effets d'une force électromotrice de même grandeur, mais d'origine différente. D'après la loi dont il s'agit, cette force est la même, qu'elle soit produite par la réaction d'un acide sur une base, ou par la somme des deux réactions séparées d'un sel sur l'acide, ou sur la base, qui ont concouru à former ce sel. Mais la première réaction a été seule susceptible de fournir des phénomènes visibles d'électrolyse extérieure à la pile, dans les conditions de ses essais.

En effet, M. Berthelot a montré que les intensités observables dans les piles fondées sur cet ordre de réactions, piles tout en étant capables de produire un courant réel et continu [1], ne permettent guère d'atteindre les limites où les gaz résultant de l'électrolyse de l'eau dans un voltamètre deviennent visibles limites définies avec préci-

[1] *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 226 à 238.

[2] Même Recueil, p. 149.

[1] Voir la démonstration de l'existence d'un tel courant dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 7e série, t. XXVII, p. 247, 253 et *passim*.

sion dans ses expériences (1). Au contraire, on réussit à atteindre ces limites et à manifester nettement une telle électrolyse par l'emploi des éléments de pile dont l'énergie résulte de l'union d'un acide avec une base; ou, mieux encore, en faisant concourir des phénomènes d'oxydation des composés dissous.

La différence de travail extérieur entre les deux ordres de pile de même force électromotrice envisagés ici est donc, conclut M. Berthelot, attribuable à la différence d'origine de leurs énergies.

Séance du 18 mai 1903

Conductibilité et ionisation résiduelle de la paraffine solide, sous l'influence du rayonnement du radium, par **Henri Becquerel**. *Comptes rendus* t. CXXXVI, p. 1173-1176.

1° Peu de temps après la découverte des rayons X, M. J.-J. Thomson a reconnu qu'un conducteur électrisé recouvert de paraffine solide se décharge lorsqu'il est soumis à l'action de ces rayons. L'isolant solide traversé par les rayons X semble alors avoir acquis une sorte de conductibilité électrolytique. En 1896, à la suite de ses premières recherches sur le rayonnement de l'uranium, M. Becquerel avait montré que la conductibilité que ce rayonnement communique à divers gaz persiste pendant quelques instants après le moment où ces gaz cessent d'être traversés par ces rayons. On sait d'autre part, que M. Curie a montré, l'année dernière, que les diélectriques liquides deviennent conducteurs lorsqu'ils sont traversés par le rayonnement du radium.

M. Becquerel s'était proposé, il y a un an, de rechercher si la paraffine solide présentait la même propriété, car ce phénomène pouvait intervenir dans diverses expériences où cette matière sert d'isolant électrique.

On constate facilement que la paraffine solide devient conductrice lorsqu'elle est traversée par le rayonnement du radium, et l'on observe en outre que, après le moment où l'influence radiante a cessé d'agir, la paraffine solide conserve une conductibilité qui diminue rapidement mais reste cependant appréciable pendant une demi-heure environ.

L'expérience était disposée de la manière suivante : dans un tube de verre de 3 cm de diamètre intérieur on avait placé, contre la paroi interne, une feuille de cuivre de 72 mm de hauteur, puis, dans l'axe, un cylindre d'aluminium de 6 mm de diamètre et de 0,1 mm d'épaisseur, soutenu par un support fixé à un bloc de soufre. A l'intérieur du cylindre d'aluminium on avait disposé un tube de verre très mince étiré à la lampe et fermé à sa partie inférieure. On coula de la paraffine aussi pure que possible, dans le tube extérieur, et l'on attendit qu'elle fût solidifiée. Le petit tube central constituait une cavité dans laquelle on pouvait descendre la matière active, de façon à l'amener dans l'axe de la masse cylindrique de paraffine. Cette matière active était un peu de chlorure de radium enfermé dans un petit tube de verre très mince de 1 mm environ de diamètre sur 6 mm de hauteur. Le cylindre de cuivre extérieur était en relation avec une pile à eau qui, suivant les cas, comprenait 100 ou 200 éléments ; le cylindre central en aluminium était isolé et en relation avec un électromètre à feuille d'or. Dans ces conditions, en l'absence de l'influence du radium, l'électromètre n'accuse aucun courant; dans quelques mesures des défauts d'isolement ont fait naître de faibles courants dont on a tenu compte comme correction. Si l'on vient alors à introduire dans le tube central la matière active, la feuille d'or de l'électromètre se déplace rapidement accusant un courant au travers de la couche annulaire de paraffine. L'effet est dû aux rayons pénétrants qui ont traversé les deux enveloppes de verre, le cylindre d'aluminium et une épaisseur de paraffine plus ou moins considérable; à l'effet de ces rayons il faut joindre celui des rayons secondaires plus absorbables provoqués soit au travers des diverses matières, soit à la sortie des diverses enveloppes. Les rayons pénétrants traversent même la paroi du tube extérieur et sortent de l'appareil, ionisent l'air sur leur passage et provoquent des déperditions qui, avec la disposition employée, ne permettent pas de faire une mesure précise du courant qui s'établit entre les cylindres de cuivre et d'aluminium.

Lorsqu'on enlève le radium cette perturbation ne se produit plus ; à partir du moment où l'influence du rayonnement a cessé, on observe dans l'électromètre un courant qui va en s'affaiblissant progressivement, et qui peut s'inter-

(1) Voir le mémoire : « Sur la limite d'intensité du courant d'une pile qui correspond à la manifestation d'un débit électrolytique apparent dans un voltamètre. » *Ann. de Chim. et de Phys.*, 7e série, t. XXVII, p. 192.

préter par la persistance de l'état d'ionisation où la paraffine solide a été mise par le rayonnement qui l'a traversée, état qui se détruit peu à peu avec le temps. Les nombres que l'on trouvera plus loin sont relatifs aux vitesses de charge de l'électromètre à divers instants, après le moment où le radium a été retiré du tube central.

Dans l'expérience précédente la paraffine s'est chargée. Si l'on met à la terre les deux cylindres en supprimant la communication avec les pôles, puis si l'on isole le cylindre d'aluminium, on voit celui-ci se charger régulièrement en sens contraire de la charge précédente. Ce courant peut être l'effet de la disparition progressive de l'état de polarisation du diélectique. Il peut également être partiellement produit par une faible ionisation résiduelle qui n'aurait pas encore totalement disparu. Si alors l'on introduit de nouveau le radium dans l'appareil, on provoque dans la paraffine une nouvelle ionisation qui donne lieu à une recombinaison rapide des charges libérées ; on observe d'abord un courant notable, qui devient très faible au bout de quelques secondes, quand la majeure partie de la charge de la paraffine a été neutralisée.

La paraffine avait été fondue le 20 février 1902 et les expériences qui viennent d'être décrites avaient été exécutées le lendemain et le surlendemain, sur la paraffine refroidie. On pouvait penser que le temps écoulé depuis la solidification n'était pas suffisant pour que la masse solide eût repris un état d'équilibre moléculaire stable. L'appareil a été alors abandonné à lui-même pendant un an, et les expériences furent reprises en mars 1903, dans les mêmes conditions.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus à un an de distance. Les nombres expriment en volts la vitesse de la charge de l'électromètre par seconde ; ils sont proportionnels au courant qui s'établit entre les deux cylindres. Les temps sont comptés à partir de l'instant précis où le radium a été retiré de l'appareil, c'est-à-dire à partir du moment où l'influence radiante a cessé d'agir.

22 février 1902.				21 mars 1903.				26 mars 1903.	
3 h. 14 m.		3 h. 4 m.		3 h. 27 m.		4 h. 20 m.			
Durée de l'influence : 2 minutes.				Durée de l'influence : 5 minutes.		Durée de l'influence : 10 minutes.		Durée de l'influence : 2 minutes.	
Heures. m s	Courant. v	Heures. m s	Courant. v	Heures. m s	Courant. v	Heures. m s	Courant. v	Heures. m s	Courant. v
»	»	»	»	0.12	0,0679	0.23	0,0845	»	»
»	»	»	»	»	»	0.39	0,0678	0.37,5	0.0618
»	»	»	»	1.19,4	0,0407	1.18	0,0520	1 48	0,0378
2.27,2	0,0357	2.26,5	0,0368	2.23,5	0,0336	»	»	»	»
»	»	6.38	0,0256	5. 2,5	0,0229	5.39,5	0,0286	4.25,5	0,0267
8.26,5	0,0178	»	»	8.45,5	0,0153	8.17,2	0,0235	7.51	0,0178
»	»	13.41	0,0122	»	»	12.19	0,0187	»	»
23. 1,2	0,0088	»	»	»	»	»	»	»	»
»	»	45. 8	0,003	»	»	»	»	»	»

On voit qu'il y a concordance complète entre les résultats observés sur le même échantillon de paraffine à treize mois de distance. L'effet augmente avec la durée de l'influence du rayonnement.

Les courbes qui représentent les nombres précédents ont l'allure de branches d'hyperboles.

On sait que les lois théoriques et expérimentales de la recombinaison des ions gazeux sont représentées par des branches d'hyperboles. Les nombres ci-dessus ne sont pas, ajoute M. Becquerel, assez précis pour que l'on puisse en déduire des conséquences théoriques relatives aux propriétés de la paraffine ionisée. On peut cependant les considérer comme mettant nettement en évidence, au moins qualitativement, la conductibilité acquise par la paraffine sous l'influence du rayonnement pénétrant du radium. On devra tenir compte de cette conductibilité dans les expériences où la paraffine est employée comme isolant et est traversée par le rayonnement étudié.

L'analogie de ce phénomène avec celui qui se

manifeste dans tous les diélectriques traversés par les rayons X conduit à penser que le rayonnement du radium produit des effets du même ordre au travers de tous les diélectriques solides, comme au travers des diélectriques liquides et gazeux.

Sur la conductibilité électrique du sélénium en présence des corps traités par l'ozone, par **Edmond van Aubel**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1189-1190.

J.-H. Vincent[1] a montré le premier que des substances, incapables par elles-mêmes d'impressionner la plaque photographique, acquièrent cette propriété l'orsqu'elles ont été soumises à l'action de l'ozone. Il a fait ses expériences avec le caoutchouc, la gutta-percha et le camphre et a constaté, par une méthode chimique, que le caoutchouc traité par l'ozone contenait de l'eau oxygénée. L'ozone seul n'agissait pas sur la plaque photographique. Les résultats obtenus devenaient ainsi une conséquence des recherches de W.-J. Russell.

L'année dernière, P. Villard [2] a fait à la Société française de Physique une communication sur la même propriété des corps traités par l'ozone, mais les expériences antérieures de J.-H. Vincent ne sont pas mentionnées par le physicien français, qui ne donne d'ailleurs pas l'explication des phénomènes intéressants observés par lui. Plus récemment, Octave Dony-Hénault [3] a repris les expériences de P. Villard et attribué les résultats obtenus à la formation d'eau oxygénée. Les travaux de P. Villard et Octave Dony-Hénault constituent donc un complément des recherches de J.-H. Vincent.

D'autre part, M. van Aubel a montré [4] que les radiations émises par l'eau oxygénée et par l'essence de térébenthine diminuent la résistance électrique du sélénium. Dans sa note il examine si les corps traités par l'ozone agissent de même.

Le dispositif employé est le suivant :

1° Une feuille de caoutchouc rouge a été mise sur le trajet d'un courant d'ozone sec pendant douze minutes, puis déposée dans une cuvette en porcelaine; celle-ci a été placée dans la caisse en bois qui a été employée précédemment. La résistance électrique du sélénium était au début 599 000 ohms. Après quinze minutes d'exposition aux radiations émises par le caoutchouc ozonisé, la résistance tombait à 556 000 ohms. On plaçait alors l'écran de laiton, et, après une heure, la valeur de la résistance était remontée à 563 000 ohms. Le lendemain, on trouvait que le sélénium avait sensiblement repris sa conductibilité primitive.

Le caoutchouc noir a donné des résultats semblables.

2° Des morceaux de camphre ont été de même soumis au courant d'ozone sec, pendant vingt-cinq minutes. La résistance électrique de la pile au sélénium était au commencement 591 000 ohms Les rayons émis par le camphre ozonisé faisaient diminuer cette résistance jusqu'à 510 000 ohms, au bout de 15 minutes. En interposant l'écran de laiton, on trouvait 534 000 ohms après une heure, et le lendemain, la résistance initiale était reprise.

Ces résultats montrent que les corps traités par l'ozone, et suceptibles d'être attaqués par lui, augmentent la conductibilité électrique du sélénium, mais que le retour à la valeur primitive de la résistance électrique de la pile est extrêmement lent.

Sur la transmission de photographies à l'aide d'un fil télégraphique, par **A. Korn**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1190-1191.

L'exécution pratique de l'idée de baser une méthode de téléphotographie sur la propriété connue du sélénium (de perdre partiellement sa grande résistance électrique sous l'action de la lumière) présente de nombreuses difficultés, en particulier celle-ci : la construction d'un appareil récepteur permettant de transformer de très faibles courants électriques en radiations lumineuses dont l'intensité varie avec l'intensité de ces faibles courants transmis.

Dans sa note, M. Korn donne le résumé d'une nouvelle méthode par laquelle des résultats assez satisfaisants ont déjà été obtenus [1] :

La pellicule photographique X du récepteur

(1) *Beiblätter zu den Annalen der Physik*, vol. XXIII, 1899, p. 855. — *Fortschritte der Physik des Aethers im Jahre* 1899, p. 176.

(2) *Revue générale des Sciences*, vol. XIII, 1902, p. 215. — *Société française de Physique*. Séance du 7 février 1902.

(3) *Physikalische Zeitschrift*, 15 avril 1903, p. 416. — *Bulletin de l'Association belge des chimistes*, fév. 1903, p. 79.

(4) *Comptes rendus*, 14 avril 1903.

(1) Voir *Écl. Élect.*, t. XXXII, p. 296.

tourne devant une petite fenêtre (0,25 m × 0,25 m) d'un tube à vide noirci comme un rouleau de phonographe devant la membrane vivante. A l'aide de courants de haute fréquence (courants de Tesla) on peut produire à l'intérieur du tube des radiations lumineuses, qui feront, après avoir passé par la petite fenêtre, des impressions photographiques sur la pellicule sensible. Celle-ci se meut synchroniquement avec le porte-image du transmetteur (une pellicule avec la photographie à transmettre enroulée autour d'un cylindre en verre), qui est traversé par un faisceau lumineux très mince et passe, ligne par ligne, devant une pile de sélénium disposée à l'intérieur du cylindre. Suivant les différents tons de la photographie à transmettre, le sélénium reçoit plus ou moins de lumière; un courant électrique produit par une force électromotrice constante, passant par le sélénium et le fil télégraphique au récepteur subira des variations d'intensité correspondantes et réglera l'intensité des radiations du tube récepteur de la manière suivante : on relie l'électrode active du tube avec une pointe placée à petite distance d'une extrémité de l'aiguille d'un galvanomètre intercalé sur le fil de ligne et l'on relie d'autre part l'un des pôles du secondaire d'un appareil Tesla à une seconde pointe fixe située près de l'autre extrémité de l'aiguille; un flux d'étincelles jaillit entre les pointes fixes et l'aiguille et l'intensité de ce flux est d'autant plus grande que les extrémités de l'aiguille sont plus près des pointes. Par cet arrangement, on peut faire correspondre l'intensité des radiations du tube récepteur à l'intensité de la lumière frappant le sélénium du transmetteur et reproduire ligne par ligne la photographie originale.

Le récepteur téléphotographique décrit ci-dessus peut aussi servir comme récepteur de télautographe [1] pour la transmission d'écritures, dessins, etc.; il permet dans cette application une vitesse de transmission assez remarquable; vingt à quarante mots ont pu être reproduits en trois minutes dans leur écriture originale; en se servant de la sténographie, on peut même arriver à une vitesse cinq fois plus grande. Ceci n'est du reste pas une limite supérieure; les expériences ont en effet montré que les radiations du tube employé passant par la petite fenêtre donnent encore une impression distincte sur la pellicule sensible dans la cinq-centième partie d'une seconde, ce qui fait espérer que l'on pourra encore augmenter la vitesse de transmission.

La transmission des photographies est naturellement plus lente, surtout à cause d'une certaine inertie du sélénium, mais les progrès faits récemment dans la construction des piles de sélénium font prévoir qu'on arrivera là aussi à une vitesse de transmission bien supérieure à celle employée jusqu'à présent (une demi-heure pour un portrait de 12 cm × 16 cm dans le transmetteur, de 3 cm × 4 cm dans le récepteur).

[1] Avec quelques légères modifications et en employant un transmetteur Bakewell-Caselli.

Electrolyse des sulfures alcalino-terreux, par **André Brochet** et **Georges Ranson**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1195-1197.

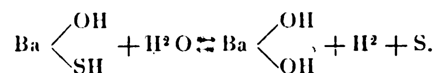
Ces recherches ont porté principalement sur le sulfure de baryum. Les essais ont été faits à chaud, en raison du peu de solubilité à froid du sulfure et surtout de l'hydrate de baryum. La température de 60°-65° est celle qui convient le mieux.

On constate les mêmes faits que dans le cas du sulfure de sodium [1], c'est-à-dire en solution étendue, formation de soufre, sulfite, hyposulfite, sulfate; mais, dans le cas présent, les produits étant insolubles se déposent sur l'anode.

En solution concentrée, il y a séparation de soufre, de baryte et d'hydrogène. Le soufre se dissout dans l'excès de sulfure pour donner des polysulfures et la baryte reste en solution. Dans les conditions de l'expérience, elle n'a aucun effet sur le soufre des polysulfures. On ne constate la formation d'aucun produit d'oxydation, ce qui est facile à mettre en évidence, l'anode restant bien nette.

Les polysulfures sont réduits avec formation d'hydrogène sulfuré, lequel avec la baryte régénère le sulfure primitif.

On obtient ainsi les deux réactions inverses, qui sont caractérisées par l'équation



$$\mathrm{Ba}\begin{cases}\mathrm{OH}\\ \mathrm{SH}\end{cases} + \mathrm{H^2O} \rightleftarrows \mathrm{Ba}\begin{cases}\mathrm{OH}\\ \mathrm{OH}\end{cases} + \mathrm{H^2} + \mathrm{S}.$$

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXIV, 1903, p. 1134; *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 359. (Dans cette note, *lire*, pour le Mémoire de Durkee, page 525 *au lieu de* page 125.)

Il y a lieu de remarquer que, si la température est très élevée, la réaction peut devenir oxydante comme dans le cas d'une solution étendue, mais ici cela semble résulter de l'action de la baryte sur les polysulfures.

L'étude de l'électrolyse du sulfure de baryum a conduit à de nombreux essais (¹). En voici deux à titre d'indication.

(¹) *Expérience I.* — On s'est servi d'une solution de sulfure de baryum telle que 1 cm³ correspondait à 22,9 cm³ de solution décinormale d'iode : soit une teneur de 297 gr de sulfure de baryum hydraté par litre ($BaS, 5H^2O$).

L'électrolyse fut faite dans un vase en fer servant de cathode et renfermant 900 cm³ de liquide. L'anode était formée d'une lame de platine de 1 décimètre de côté, soit 2 décimètres cubes de surface totale.

L'intensité du courant fut maintenue à 10 ampères, ce qui correspondait à

$Da = 5$ ampères par décimètre carré et $Dc = 1,6$ ampère par décimètre carré.

La tension aux bornes resta constante aux environs de 1,10 volt et la température fut maintenue à 60°-65°.

Après deux heures et demie la teneur de la solution avait à peine varié ; 1 cm³ corrrespondait à 22,3 d'iode, soit 289 gr de sulfure par litre. La perte était donc de 7,2 gr au lieu de 104 demandés par la théorie. L'opération n'a donc donné aucun résultat sensible la réduction représentant 93 p. 100 de la quantité d'électricité fournie à l'électrolyseur.

Expérience II. — Cet essai a été fait en vue d'étudier la réduction par la méthode d'Œttel ; il a été conduit de la même façon que l'électrolyse du sulfure de sodium et dans le même appareil, tenant 125 cm³ d'une solution, dont 1 cm³ correspondait à 23,2 de solution décinormale d'iode, soit 300 gr par litre de sulfure hydraté.

L'intensité du courant de 5 ampères correspondait à

$Da = Dc = 7$ ampères par décimètre carré.

Les résultats de cet essai figurent dans le Tableau ci-dessous.

Électrolyse du sulfure de baryum sans diaphragme.

Durée min.	Tension aux bornes.	Hydrogène dégagé.	Réduction.
0. . . .	2,70	77,2 p. 100	22,8 p. 100
12. . . .	2,25	42,3 »	57,7 »
21. . . .	2,10	33,3 »	66,7 »
30. . . .	2,10	26,1 »	73,9 »
40. . . .	2,15	17,7 »	82,3 »
60. . . .	2,18	18,3 »	81,7 »
60. . . .	2,2-2,4	15,6 »	84,4 »

Au bout d'une heure de marche, par suite du dégagement gazeux insignifiant et du manque d'agitation du liquide une légère couche de soufre se dépose sur l'anode, le voltmètre et l'ampèremètre se mettent à osciller fortement, il y a formation de produits d'oxydation qui, insolubles, se déposent sur l'anode. Le dispositif ne permettant pas l'agitation, le sens de la réaction change. Au lieu de séparer le soufre, on provoque l'oxydation du sulfure en même temps que la réduction diminue, au bout de 2 heures elle n'est que de 46,0 pour 100, la tension aux bornes étant supérieure à 3 volts.

A la fin de la première heure, 1 cm³ de solution correspondait à 18,0 d'iode décinormale, soit 245 gr de sulfure hyraté par litre. La perte correspondait à 6,9 gr au lieu de 24,2 exigés par la théorie. La réduction moyenne était de 71,6 p. 100.

La plupart des remarques faites au sujet de l'électrolyse des sulfures alcalins (*loc. cit.*) s'appliquent à l'électrolyse des sulfures alcalino-terreux. C'est ainsi que l'on peut utiliser comme anode : le platine, le fer, le nickel, etc.

Le charbon se comporte également bien ; mais si, pour une raison quelconque, la réaction devient oxydante, elle se complique alors du fait d'une légère attaque de l'électrode ; le plomb peut également, dans certains cas, se recouvrir de peroxyde. Le cuivre agit comme anode soluble.

L'addition de chlorure de sodium ne modifie pas la marche générale de l'opération, mais dans ces conditions le fer et le nickel se comportent comme anode soluble.

La baryte étant, dans les conditions indiquées, sans action sur les polysulfures, les auteurs ont cherché si l'électrolyse du sulfure de baryum sans diaphragme ne pourrait constituer un mode de préparation de cette base, en diminuant ou supprimant la réduction des polysulfures.

L'augmentation de la densité de courant cathodique est sans intérêt, l'effet étant peu sensible et n'étant pas en rapport avec l'élévation de tension aux bornes et par conséquent avec l'augmentation de dépense d'énergie.

D'autre part, l'addition de chromate, qui donne des résultats si intéressants dans la fabrication des chlorates, ne peut malheureusement être employée dans le cas présent.

Le Gérant : C. NAUD.

Tome XXXV Samedi 20 Juin 1903. 10e Année. — N° 25

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

SUR LA SURCHAUFFE DE LA VAPEUR[1]

I. Historique. — La machine à vapeur est sortie des mains de Watt, armée de toutes pièces : ce grand esprit a enrichi la science d'observations savantes sur la nature et les propriétés de la vapeur d'eau, et il s'est montré physicien consommé ; mécanicien ingénieux, il a créé le volant, la manivelle, le régulateur à force centrifuge, le parallélogramme et tout ce qui constitue la machine à vapeur ; il a inventé la détente et le condenseur. Bien plus, devançant les admirables découvertes de Hirn, il a entrevu, dans une intuition de génie, l'action malfaisante des parois [2], et, pour la combattre, il a inventé les enveloppes de vapeur et il a suggéré à Hornblower les expansions dans les cylindres multiples. Une seule chose paraît lui avoir échappé : c'est l'avantage qu'il y a à surchauffer la vapeur, après l'avoir séparée du liquide générateur, pour retarder, sinon empêcher, sa condensation au contact des parois du cylindre.

Il est bien difficile de dire à qui revient la gloire de cette invention remarquable.

M. Raffard [3] a exhumé du dépôt des brevets français du Conservatoire des arts et métiers une spécification d'un sieur Becker, mécanicien à Strasbourg, portant la date du 20 novembre 1827, relative à une « machine à haute pression dans laquelle la vapeur, avant de produire son effet, est exposée à une température très élevée ». Ce brevet mentionnerait une surchauffe à 210° C.

L'Alsace serait donc vraiment le berceau de la surchauffe et le nom obscur de Becker

---

(1) Communication faite à la Société industrielle du Nord de la France.

(2) Le mot est de M. Dwelshauvers-Dery dans son discours sur la machine moderne.

(3) *Bulletin technologique*, septembre, 1892.

passerait à la postérité avec ceux des maîtres de l'école alsacienne dont nous rappellerons plus loin les travaux.

Bryan Donkin [1] reportait l'honneur de l'invention sur J. Howard, de Bermondsey, qui aurait réalisé dès 1832 une économie notable par l'emploi d'appareils de surchauffe ; le Dr Haycroft de Greenwich serait entré dans la même voie en 1835, avec un égal succès ; mais nous n'avons aucun document sérieux nous permettant de décrire les dispositifs adoptés par ces inventeurs.

La surchauffe appartient aussi au Nord, car Raffard a trouvé un brevet de Quillacq, du 3 juillet 1849, pour un emploi de la vapeur « non saturée et surchauffée » ; l'appareil était appliqué à une chaudière de Cornwall, à foyer intérieur, avec laquelle il communiquait par des soupapes d'équilibre ; un certificat d'addition, inscrit la même année, indique un surchauffeur (de Quillacq l'appelait un réchauffeur de vapeur) de forme annulaire placé dans le courant d'air chaud, pouvant être mis hors du circuit en cas de besoin et se prêtant donc à un réglage de la surchauffe. Un sieur Moncheuil prit en 1850 un second certificat d'addition au brevet de Quillacq pour un surchauffeur tubulaire, « composé d'un faisceau de petits tubes placés à l'intérieur d'un gros tube dans lequel passent la flamme ou les gaz du foyer ».

Raffard a cru pouvoir se placer parmi les promoteurs de la surchauffe, en invoquant son brevet de 1851, relatif à un sécheur surchauffeur de vapeur détendue, placé dans la chaudière elle-même ; mais il faut reconnaître que cet appareil très intéressant du reste n'était qu'un sécheur, et qu'il ne pouvait d'aucune façon produire de la surchauffe, c'est-à-dire une élévation de température supérieure à celle de la vapeur saturée du générateur, puisqu'il était plongé dans cette vapeur.

M. E. Bède, alors professeur à l'Université de Liège, a fait en 1854, des essais de surchauffe à la filature de Saint-Léonard, auxquels on ne peut reprocher que d'avoir été trop timides ; le distingué professeur employait un tube de cuivre en U, qu'il logeait dans les conduits à fumée avec l'intention surtout de vaporiser l'eau entraînée et de sécher la vapeur. Il a pris un brevet belge à la date du 27 septembre 1854.

Marc Seguin de Lyon a essayé, en 1855, un surchauffeur formé de tubes en fer, engagés dans une masse de fonte, qui devait les protéger contre les coups de feu ; on les chauffait au rouge. M. Lencauchez, qui nous a signalé ce fait, se rappelle que la machine Farcot, à laquelle cet appareil fut adjoint, s'accommoda fort mal de la température trop élevée de la vapeur qu'on lui servait.

Mais c'est à l'immortel Hirn, le grand thermodynamiste, la gloire scientifique de l'Alsace, que revient à plus juste titre l'invention raisonnée de la surchauffe : son brevet du 12 novembre 1855 décrit un *hyper-thermo-générateur*, formé d'un faisceau de tuyaux placés dans les carneaux, au milieu de la fumée, pouvant développer dans la vapeur un haut degré de surchauffe.

Ces tuyaux étaient en fonte, et ce métal avait été choisi « à cause de son inaltérabilité » dit le brevet, les joints étaient métalliques, constitués par une bague de cuivre rouge à arêtes vives serrée entre les brides ; le faisceau s'installait dans les carneaux ou au pied de la cheminée. En tous cas, des valves permettaient de faire dévier tout ou partie des gaz chauds de manière à régler à volonté le degré de surchauffe,

Ce brevet de Hirn est un document très important dans l'histoire de la surchauffe de la vapeur ; nous le mentionnons avec d'autant plus de soin que ce grand initiateur, cet inven-

---

[1] *Engineering*, 7 avril 1893 : On the use of superheated steam in steam engines.

teur fécond, ce maître si ingénieux n'a pris que trois brevets dans sa longue et brillante carrière.

Les premiers essais de Hirn, sur les effets de la surchauffe ont été commencés en 1856; ils ont porté sur les célèbres machines du Logelbach, devenues classiques par l'importance des recherches dont elles ont été l'objet. C'était d'abord une machine à balancier, à un cylindre sans enveloppe, à quatre tiroirs, commandés par un mouvement différentiel, qui permettait de fixer la détente au degré voulu. On l'alimenta de vapeur plus ou moins surchauffée, et Hirn évalua l'économie réalisée à 20 p. 100 pour une température de 210°, et à 47 p. 100 pour 245°. Il soumit ensuite à ses expériences une machine à deux cylindres Woolf pourvue d'une enveloppe de vapeur; le bénéfice attribué à la surchauffe fut encore nettement constaté et évalué à 12 ou 15 p. 100. On résolut alors pour déterminer séparément l'influence de l'enveloppe et de la surchauffe, de ne pas alimenter l'enveloppe, et l'on reconnut que la surchauffe donnait encore 8 à 10 p. 100 « comparativement avec ce qu'on obtenait avec vapeur saturée et enveloppe (1) ». La surchauffe était donc plus avantageuse que les enveloppes de vapeur.

Hirn a raconté une déception qu'il eut alors dans l'application de la surchauffe à une machine des environs de Colmar : c'était une Woolf sans enveloppe. On avait escompté une économie de 25 à 30 p. 100; on aboutit à une perte de 4 p. 100! Cet échec fut expliqué plus tard et attribué à la disposition particulière du tiroir unique, à fonction multiple, desservant les deux cylindres, qui ramenait à saturation la vapeur surchauffée et ne produisait en somme qu'une perte plus considérable au condenseur. Mais la leçon ne fut pas perdue et Hirn en déduisit des considérations importantes sur l'emploi rationnel de la vapeur surchauffée.

Il préconisait une surchauffe à 230°; dans ces conditions de surchauffe modérée, on réalisait un fonctionnement très satisfaisant et Hirn a pu dire en 1876 que certaines machines marchaient ainsi depuis vingt ans sans usure, ni détérioration préjudiciable (2). L'école alsacienne ne paraît pas avoir exagéré la thèse du maître et Hallauer fixait à 250° la limite qu'il ne convenait point de dépasser. Les remarquables expériences qui furent poursuivies avec tant d'éclat par Hirn, Leloutre, Hallauer, etc., établirent nettement le but qu'il fallait atteindre, qui était de subvenir par la surchauffe aux refroidissements produits dans le cylindre pendant la détente et l'échappement et de restreindre, sinon d'annuler entièrement les condensations qui ont lieu dans la phase d'admission. On avait démontré que l'eau était l'ennemi : il s'agissait donc en dernière analyse d'avoir à fin de course une paroi de cylindre qui fût encore sèche, de manière à ne rien perdre vers le condenseur.

Ce résultat pouvait être obtenu dans une certaine mesure par l'adjonction des enveloppes de vapeur, mais on l'obtenait bien plus sûrement par la surchauffe. Toutefois il faut reconnaître que, si les enveloppes le cédaient au point de vue économique, elles étaient d'une application bien plus aisée : elles ne donnaient lieu à aucun mécompte, n'exigeaient aucune précaution, aucune surveillance, aucun savoir-faire. Au contraire, les surchauffeurs étaient exposés à se détériorer et à se brûler; l'industriel qui les employait avait le souci d'appareils délicats, quelquefois même, dangereux, et, en cas d'accident, il perdait tout recours contre le constructeur trop disposé à décliner sa responsabilité et à se dérober en invoquant un abus d'emploi; d'autre part, un excès de surchauffe carbonisait les huiles, provo-

(1) *Exposition analytique et expérimentale de la théorie mécanique de la chaleur* t. II, p. 84, 2e édition, Paris, 1876.

(2) Hirn, *Exposition analytique*, etc., t. II, p. 122.

quait des grippements dans les joints mobiles des machines et fatiguait les bourrages de chanvre. Dès lors, les enveloppes de vapeur devaient être préférées aux surchauffeurs. Les mêmes considérations militaient en faveur des expansions multiples : elles devaient aussi triompher de la surchauffe; c'est ce qui arriva en effet et les constructeurs de machines orientèrent leurs efforts dans cette direction.

La même évolution se produisit en Angleterre.

John Penn avait introduit la surchauffe dans la marine dès 1859 et le succès le plus franc avait couronné cette innovation : des expériences poursuivies longuement à l'arsenal de Woolwich firent constater une économie de 30 p. 100 en charbon. Parson, Partridge, Pilgrim, Siemens, établirent aussi des appareils surchauffeurs, qui n'étaient souvent que des sécheurs et ne produisirent toujours qu'une faible surchauffe. A bord du *Ceylan*, la température de la vapeur dépassant de 55° celle de la saturation, on releva une économie de 25 p. 100; sur le *Nepaul* on obtint même 50 p. 100. Avec des machines à un cylindre, alimentées de vapeur légèrement surchauffée à 2,5 kg : cm² environ de pression, la consommation de charbon était de 1 100 à 1 200 gr par cheval-heure effectif : ces résultats furent considérés comme très encourageants à l'époque où ces expériences eurent lieu. Mais on arrivait au même résultat avec des machines compound recevant de la vapeur saturée à 5 kg : cm² de pression : or à égalité d'économie les surchauffeurs devaient succomber pour les raisons exposées ci-dessus [1].

Ghislain en Belgique, Whetered en Amérique et d'autres encore, en Allemagne et ailleurs, installèrent des surchauffeurs avec autant d'économie, mais sans plus de persévérance qu'en Alsace. On essayait le procédé et on y renonçait au bout de quelque temps. MM. Dollfus, Mieg et Cie à Mulhouse avaient placé dans leurs établissements une machine de 200 chevaux, avec surchauffeur; on supprime le surchauffeur tout en déclarant qu'il augmentait la puissance du moteur. La compagnie des Messageries et la Compagnie Transatlantique montèrent des surchauffeurs à bord de leurs navires et ne les renouvelèrent pas. Le vaisseau de guerre *le Fontenoy* fut doté d'une installation qui fut l'objet d'un rapport élogieux au ministre de la Marine, en 1862 : cela ne la sauva pas.

De quoi se plaignait-on ?

De la sujétion qu'entraînait la conduite des appareils, des avaries qui se produisaient, des grippements auxquels on s'exposait, que sais-je encore; on prétendit même que les cylindres horizontaux ne convenaient nullement à l'emploi de la vapeur surchauffée parce que leur ovalisation, considérée alors comme inévitable, occasionnait des fuites plus grandes qu'avec la vapeur saturée.

Bref : le principe de la surchauffe était admis, mais son application n'entrait pas dans la pratique. Aussi les ouvrages techniques postérieurs à 1862 ne la mentionnaient-ils même pas. *L'Aide-Mémoire* de Claudel, de 1867, cette mine de renseignements utiles, omet la surchauffe dont on cherche en vain le mot dans la table systématique des matières : la *Théorie des machines à vapeur* de M. E. Bède, de 1863, est muette sur ce point; la *Théorie des moteurs à vapeur*, publiée en 1872 par M. Dwelshauvers-Dery, dans la *Revue Universelle des mines*, disait avec grande science l'influence de la condensation, des pressions élevées, des longues détentes, des espaces nuisibles et des enveloppes et néglige les effets de la surchauffe; M. Pochet, dans sa *Nouvelle mécanique industrielle* (1873) ne mentionne la surchauffe que pour la déconseiller; Resal dans son *Traité de Mécanique générale*

[1] D'intéressantes expériences furent faites par Isherwood, Loring et Emery, elles sont résumées par M. Thurston, *Traité de la machine à vapeur*, t. I, p. 687. traduction Demoulin. Paris, 1893.

(1876), dit qu'on a renoncé à la surchauffe parce qu'elle entraîne plus d'inconvénients que d'avantages.

Il ne faut dès lors pas s'étonner qu'à l'exposition de Vienne de 1873 on n'ait eu à récompenser aucun surchauffeur; M. Charles Meunier-Dollfus, dans son beau rapport présenté à la Société Industrielle de Mulhouse (29 octobre 1873), ne fait même pas ressortir cette lacune de l'Exposition, ce qui prouve qu'elle ne l'étonnait nullement et qu'il ne la regrettait pas. La surchauffe n'était plus à l'ordre du jour. M. Lencauchez résumait la situation dans une savante communication faite aux Ingénieurs civils de France le 20 août 1890, en disant que « si l'emploi de la vapeur sèche est à rechercher, celui de la vapeur surchauffée doit être écarté, comme étant complètement irréalisable en pratique industrielle, *du moins quant à présent* (1). »

Cette réserve du perspicace ingénieur doit être retenue; en effet, pour que la surchauffe devînt pratique, il suffisait de trouver le métal résistant aux températures élevées, de remplacer les bourrages en chanvre des stuffing-box par des joints incombustibles et d'employer des graisses qui ne forment pas de cambouis et qui gardent un grand pouvoir lubrifiant aux températures élevées.

Or, ces progrès ont été réalisés assez rapidement.

Dès 1888, se manifesta donc un retour, timide, il est vrai, mais indéniable, vers la surchauffe qu'on trouve trop calomniée. En 1889, on vit à l'Exposition le sécheur réchauffeur de vapeur de MM. Lagosse et Bouché; c'était une batterie de tubes en **U**, installée au pied de la cheminée et traversée par le courant de vapeur. M. Ulher exposait aussi un sécheur: mais on se gardait de prononcer le nom de surchauffeur, et dans son remarquable rapport sur les chaudières à petits éléments, présenté au Congrès de Mécanique de 1889, M. Olry prend la précaution de dire que « les sécheurs que l'on adjoint souvent aux générateurs multitubulaires ne sont jamais soumis à une haute température; ils ne doivent donc pas être considérés comme des surchauffeurs (2) ».

Mais on s'enhardit bientôt et M. Uhler commença ses installations de surchauffeurs, bien dûment qualifiés comme tels, en 1890. Il adopta les tubes Field suspendus dans le courant des gaz chauds, insérés sur une caisse en fonte d'abord, puis sur des récipients en tôle.

A partir de ce moment, une révolution se produisit dans les idées et l'on se mit énergiquement à l'œuvre pour réaliser la surchauffe. Gehre employait en Allemagne des corps tubulaires en tôle ayant un grand développement, logés au bout des carneaux; Schwœrer, le distingué secrétaire de Hirn, qui avait recueilli les dernières pensées du maître, revint aux tubes à ailettes qu'il faisait en fonte de Niederbronn, avec joints Hirn ; c'est lui qui paraît avoir eu le plus grand succès, puisqu'il déclarait récemment 4800 surchauffeurs en service en tous pays.

A l'Exposition de Paris de 1900, et depuis lors on a vu paraître les surchauffeurs Steinmüller de Gummersbach, Pétry-Dereux de Liège et Hering, tous formés de tubes en **U**, rectilignes ou bien contournés en serpentins. Avec des tubes minces sans soudure, étirés dans un métal de première qualité, tous les joints étant hors du feu, ces joints d'ailleurs conditionnés de façon à ne pas craindre le feu, en veillant à assurer une libre dilatation des tubes et une bonne circulation de la vapeur, on arrive à établir des appareils efficaces et

(1) Mémoires de la Société des Ingénieurs civils de France, année 1890; *Avantages de la haute pression de la vapeur dans les machines compound*, par A. Lencauchez.

(2) *Revue technique de l'Exposition de 1889;* 6e partie, t. I, p. 500.

durables; le problème n'est donc pas loin d'être résolu et l'on peut maintenant faire de la surchauffe sans danger. Il reste une difficulté : celle de modérer à volonté la surchauffe et de soustraire le faisceau surchauffeur à l'action de la chaleur aux mises en route, ou aux arrêts de machine, alors qu'il ne débite pas de vapeur : le moyen le plus rationnel consiste à le mettre hors circuit, en le plaçant dans une dérivation du courant des gaz chauds, à l'aide de trappes ou de valves; quand la disposition du générateur ne permet pas ce moyen, on a la ressource de le remplir d'eau, mais on s'expose alors à des incrustations dont les résultats peuvent être fâcheux. Pour modérer la surchauffe et la limiter à un degré voulu, on peut encore mêler la vapeur surchauffée à de la vapeur saturée et doser pour ainsi dire à volonté la surchauffe : ce procédé est bon.

Dans les générateurs multitubulaires, le surchauffeur se présente différemment; c'est un prolongement du faisceau tubulaire, que le courant de vapeur traverse en se rendant aux canalisations de distribution. Roser en forme les parois du foyer. Niclausse le place au milieu du faisceau. Belleville le met au plafond, Babcock et Wilcox, de Naeyer, etc., dans l'angle laissé libre à la partie supérieure : on peut discuter longuement sur les avantages relatifs de ces divers dispositifs.

Le degré de la surchauffe dépend évidemment de l'étendue des surfaces des tubes qui la produisent. On lui donne généralement de 10 à 30 p. 100 de la surface de chauffe du générateur lui-même, et on ne cherche guère à dépasser 300°. Schmidt d'Aschersleben (Saxe) avait voulu, dès 1892, faire une surchauffe plus intense et, grâce à l'emploi d'une surface de surchauffe quintuple de celle de la chaudière, la vapeur sortait de son appareil à 380° et même plus. Malgré les précautions très ingénieuses prises pour ménager la première partie du faisceau, en lui servant de la vapeur à grande teneur d'eau, les serpentins de la chaudière Schmidt subissaient de terribles assauts auxquels ils ne résistaient pas longtemps. M. Serpollet se trouvait dans des conditions exceptionnelles avec ses tubes; mais, ni Schmidt, ni lui ne paraissent avoir persévéré dans la voie dans laquelle ils s'étaient engagés avec un grand succès, et ils font aujourd'hui comme tout le monde, de la surchauffe modérée.

Ce principe de la modération dans la surchauffe semble prévaloir et nous en avons vu la preuve à l'Exposition de Dusseldorf, qui marquera dans l'histoire de la surchauffe : alors qu'à Paris en 1900, l'usine Worthington employait seule la vapeur surchauffée, à Dusseldorf un grand nombre de surchauffeurs étaient en service actif; c'étaient des Hering, des Reichling, des Schwœrer, des Heizmann, des Koch, etc. : ce dernier appareil, adapté à une chaudière à foyer intérieur, était formé par un faisceau vertical suspendu par une chaîne dans les carneaux, de manière à pouvoir faire varier sa surface et par suite la température. La maison Dingler exposait un surchauffer à foyer indépendant; ces appareils, qui donnent évidemment beaucoup moins d'économie, présentent le grand avantage de pouvoir être réglés, indépendamment de l'allure du générateur; ils peuvent recevoir la vapeur d'une batterie de chaudières, et, dans ce cas, ils sont à conseiller, mais on cherchera toujours de préférence à utiliser les chaleurs perdues des chaudières, en plaçant les appareils de surchauffe dans les carneaux.

Dans ces conditions, une surchauffe même modérée donne de remarquables résultats : les meilleurs machines à vapeur, pourvues de tous les perfectionnements accumulés par la théorie et la pratique dans les quarante dernières années, améliorent leur rendement d'une façon appréciable. Nous le démontrerons dans la seconde partie et nous dirons comment et pourquoi.

II. — Théorie de la surchauffe. — La théorie a devancé quelquefois la pratique, mais le plus souvent ce sont les gens de métier qui lui ont proposé les problèmes qu'elle a résolus : la machine à vapeur tournait depuis longtemps quand Sadi Carnot découvrit comment la chaleur était mise en œuvre dans les moteurs : et encore fallût-il attendre les compléments d'explication de Seguin et de Meyer pour découvrir le mode exact de transformation des calories en kilogrammètres.

De même, avant que Hirn ne prit son brevet de 1856, des thermodynamistes inconscients avaient chauffé la vapeur séparée de son liquide générateur ; mais les constructeurs n'auraient pas tiré parti de ces premiers essais si le savant ne leur avait frayé les chemins, montré les voies à suivre et signalé les impasses.

Hirn ne s'attachait pas aux vaines formules, mais il semait des idées à pleines mains ; les grains ont germé inégalement ; les enveloppes et les multiples expansions ont mûri plus vite ; mais aujourd'hui l'heure de la surchauffe est venue et la moisson promet d'être belle.

C'est ce que je voudrais faire d'abord, en ouvrant une enquête sur les faits dûment acquis à ce jour : j'essaierai ensuite de démontrer que la théorie les explique et qu'elle aurait pu les découvrir. Ce travail constituera une timide et bien modeste contribution à la théorie de la surchauffe.

Pour apprécier les services rendus par la surchauffe, il faut s'assurer d'abord qu'elle améliore réellement le rendement des machines : dans ce but, rapprochons un certain nombre de résultats d'essais faits en ces derniers temps sur diverses machines.

Consommation des meilleures machines à vapeur.

Type de la machine		Auteur de l'essai	Date de l'essai	Diamètre des cylindres	Course du piston	Nombre de tours par minute	Pression de la vapeur	Travail indiqué en chevaux	Degré de surchauffe	Température de la vapeur	Consommation par chev.-heure indiqué en kil. de vapeur	Consommation par chev.-heure indiqué en calories
Marche en vapeur saturée sèche												
Monocylindrique	sans cond.	Delafond	1884	500 m/m	1m,100	62,7	7k,28	240,0	0	170°9	9k,62	6236,3
	avec cond.	id.	1884	id.	id.	59,9	7,30	157,0	0	171°0	7,38	4861,0
	sans cond.	Comm. officielle.	1896	500	1,000	75,0	6,80	125,93	0	168°4	9,93	6576,0
	avec cond.	Vinçotte	1894	660	1,525	47,87	6,36	305,03	0	166°0	5,46	3588,1
Compound	avec cond.	id.	1891	800-1254	1,800	51,71	6,80	531,53	0	168°4	5,99	3947,2
	id.	Witz.	1892	660-1150	1,350	64,39	6,28	560,252	0	165°6	6,067	3995,4
	id.	id.	1897	813-1422	1,680	60,905	7,14	790,315	0	170°9	5,87	3865,0
Triplex	id.	Walther-Meunier	1891	525-800-1100	1,350	64,47	55,80	277,1	0	162°9	5,67	3522,0
	id,	Schröter	1890	501,25-751,5 1202,6	1,4015	66,41	10,35	717,7	0	184°4	5,63	3731,2
Marche en surchauffe												
Monocyl., avec condensation.		Walther-Meunier	1892	712	1,367	60,15	4,56	308,87	66°	221°0	7,36	4893,7
Compound	sans cond.	Schröter	1894	310-690	0,500	117,3	11,90	76,37	161°	351°2	4,55	3397,0
	id.	Witz	1895	80-140	0,090	309,7	14,00	6,77	168°	365°4	5,85	4377,0
	avec cond.	Gyssling	1893	676,4-1050,7	1,350	66,0	6,5	588,57	72°	238°9	5,53	3828,0
	id.	Witz.	1902	300-500	0,600	125,30	13,0	149,29	12°2	206°2	5,63	3779,0
	id.	Walther-Meunier	1898	525-825	1,200	—	8,4	328,08	169°5	345°7	4,40	3271,8
	id.	Schröter	1902	325-560	0,850	127	10,28	215,19	172°7	356°9	4,02	2992,0
Triple.	id.	Walther-Meunier	1897	560-800-1150	1,370	69,98	11,40	816,07	99°5	288°1	4,67	3430,0
	id.	id.	1901	490-760-1250	1,350	67,11	11,09	841,76	47°8	235°0	5,03	3454,0

L'avantage de la surchauffe ressort à l'évidence de ce tableau comparatif, dans lequel j'ai réuni tous les types de machines et les modèles les plus variés, à tiroirs plans, à obturateurs Corliss, à soupapes Sulzer et à pistons valves van den Kerchove ; la colonne des calories qui sont le prix du cheval-heure indiqué, témoigne d'un progrès réel réalisé par les surchauffes même modérées. On peut garantir sans aucun risque, pour les machines à condensation, une consommation de 3 000 à 4 000 calories, suivant leur puissance, pourvu qu'on fasse de la surchauffe. En vapeur saturée on n'était assurément pas loin de ce résultat, mais on n'avait pas la même certitude de le réaliser. Jamais d'ailleurs on n'avait relevé, pour une machine de 200 chevaux, une dépense de 2 992 calories. Ce chiffre correspond à un rendement thermique indiqué de $\frac{635,29}{2\,992} = 0,212$ [1] ; or, je ne connaissais jusqu'ici aucun rendement supérieur à 0,194 en machine à vapeur [2].

L'expérience démontre donc que la surchauffe produit en général des effets appréciables dans les machines à vapeur de tous les types et de toutes les puissances et qu'elle améliore incontestablement leur rendement.

Toutefois on avait le droit de se demander quelle est exactement l'économie procurée par la surchauffe pour des machines de premier ordre, pourvues d'enveloppes efficaces, et effectuant dans des cylindres étagés une double ou une triple expansion de la vapeur. La surchauffe n'est-elle pas une superfétation dans des moteurs où rien n'a été négligé déjà pour conjurer l'action nuisible des parois ? Le bénéfice obtenu alors suffit-il encore pour justifier l'emploi d'appareils assez coûteux, sujets à une usure rapide, qui sont et resteront longtemps délicats et qu'il faudra toujours ménager et surveiller ?

Pour répondre à cette question, il convenait d'instituer des essais de comparaison, ayant spécialement pour objet la détermination exacte des calories gagnées grâce à la surchauffe dans des machines d'ailleurs excellentes. Ces expériences ont été faites de divers côtés, mais l'Association alsacienne des propriétaires d'appareils à vapeur, si habilement dirigée par M. Walther-Meunier, a fourni le plus de données pour la solution de cet important problème ; nous sommes fier de constater qu'après avoir inauguré la pratique de la surchauffe, l'Alsace a par la suite contribué aussi le plus effectivement à sa vulgarisation et à ses perfectionnements.

Le tableau de la page 449 met en parallèle les résultats obtenus tour à tour pour une même machine marchant avec ou sans surchauffe, toutes choses égales d'ailleurs, tant que cela est possible.

Le bénéfice varie de 7,8 à 17,3 p. 100 et il est à remarquer que l'ordre de classement des machines est le même en vapeur saturée et surchauffée ; les rendements croissent parallèlement dans les deux cas et l'économie se trouve maximum pour le moteur qui tenait déjà le premier rang en vapeur saturée. La constatation de ce fait a une portée considérable sur laquelle nous ne saurions trop insister.

Le dernier essai de notre tableau mérite d'ailleurs à tous égards d'arrêter notre atten-

---

(1) Le rendement thermique est le rapport des calories utilisées aux calories disponibles. Le cheval-heure, correspondant à $3\,600 \times 75 = 270\,000$ kgm, représente une utilisation de $\frac{270\,000}{425} = 635,29$ calories. En divisant ce nombre de 635,29 par les calories consommées par cheval-heure *indiqué*, on obtient le rendement indiqué.

(2) Le moteur à gaz donne des rendements beaucoup plus élevés. Ainsi le moteur Catteau, que j'ai essayé récemment à Roubaix, a consommé 317 litres de gaz à 5 784 calories au mètre cube par cheval-heure indiqué. C'est un rendement thermique indiqué de 0,346. Il est exceptionnel, mais les rendements de 0,300 sont communs, ainsi que je l'ai démontré en janvier et juin 1902, dans *L'Éclairage Électrique*, au cours de mon étude sur le rendement comparé et le fonctionnement des moteurs thermiques.

Consommations comparées des mêmes machines à vapeur alimentées de vapeur surchauffée ou saturée.

TYPE de la machine	EXPÉRIMENTATEURS	VAPEUR SATURÉE				VAPEUR SURCHAUFFÉE					
		Travail indiqué en chevaux	Température de la vapeur	Consommation par cheval-heure indiqué: En kg de vapeur	Consommation par cheval-heure indiqué: En calories	Travail indiqué en chevaux	Température de la vapeur	Degré de surchauffe	Consommation par cheval-heure indiqué: En kg de vapeur	Consommation par cheval-heure indiqué: En calories	Bénéfice p. 100
Woolf jumelle. . .	Walther-Meunier	362,63	159°05	10,013	6558	405,68	216°0	56°95	8,860	6045	7,8
Monocylindrique Corliss	Id.	310,27	164°00	8,641	5673	308,87	221°5	57,50	7,136	4882	13,9
Compound Corliss.	Id.	557,30	166°60	8,50	5587	577,77	230°0	63,40	6,75	4642	16,5
Id. Sulzer..	Gyssling	574,44	166°80	6,76	4443	581,71	239°0	72,20	5,63	3896	12,3
Triplex Frikart. . .	Weber	699,01	188°68	6,18	4103	697,40	230°18	41,50	5,46	3734	9,0
Id. Corliss . .	Walther-Meunier	805,193	188°50	5,748	3816	809,19	288°0	99,50	4,676	3328	13,0
Compound Van de Kerchove	Schröter	219,03	180°30	5,470	3618	215,19	352°18	171,88	4,020	2992	17,3

tion ; il fait partie d'une remarquable série d'expériences effectuées à Gand, aux ateliers Van den Kerchove, par M. le Professeur Schröter, en septembre 1902, sur une machine à pistons-valves, dont le petit cylindre était dépourvu d'enveloppe.

Ces recherches ont fait ressortir l'influence d'une surchauffe progressive.

	VAPEUR SATURÉE	VAPEUR SURCHAUFFÉE				
Température de la vapeur	180°3	204°3	233°6	263°4	306°4	352°8
Travail indiqué en chevaux.	220,92	222,87	223,90	220,29	220,24	215,19
Consommation de vapeur par cheval-heure indiqué.	5,47 kg	5,25 kg	4,99 kg	4,84 kg	4,46 kg	4,02 kg
Consommation équivalente en vapeur saturée. .	—	5,34	5,19	5,14	4,87	4,52
Calories correspondantes.	3 618	3 534	3 430	3 397	3 220	2 992
Economie réalisée p. 100 par la surchauffe. . .	—	2,4	5,1	6,0	11,0	17,3

Ces essais ont été poursuivis à des températures de surchauffe plus élevées encore et et les consommations observées confirment les brillants résultats que nous venons de faire connaître : nous extrayons d'un mémoire inédit, qu'on a eu l'obligeance de nous communiquer, les chiffres ci-dessous :

	VAPEUR SATURÉE	VAPEUR SURCHAUFFÉE			
Pression de la vapeur.	9,09 kg	9,13 kg	9,18 kg	9,24 kg	9,14 kg
Température correspondante	180°69	180°86	181°10	181°33	180°98
Température de la vapeur au petit cylindre.	178,03	254,7	306,8	341,9	390,0
Degré de surchauffe	—	73,84	125,7	180,57	209,3
Travail indiqué en chevaux	227,75	233,62	232,05	223,48	221,62
Consommation de vapeur par cheval-heure indiqué. .	5,78	4,87	4,38	4,21	3,85
Consommation de calories	3 818	3 395	3 162	3 151	2 934

***

On a même atteint 403°,6, soit 222°,5 de surchauffe, et la consommation de vapeur est tombée à 3,63 kg, correspondante à 2790 calories. Pour 13° d'augmentation, le gain est donc de 144 calories ; nous ne touchons par conséquent point encore au maximum et l'expérience démontre péremptoirement qu'il y aurait lieu de surchauffer davantage si cela était possible. Nous attachons un grand prix à cette constatation expérimentale.

La loi que M. Walther-Meunier avait énoncée en 1895 est donc solidement établie ; la consommation de calories par cheval-heure indiqué diminue au fur et à mesure que la température de la surchauffe augmente et le rendement s'améliore continûment.

M. Dujardin a déduit d'autre part des expériences qu'il a poursuivies sur sa machine d'atelier, à des charges variables, que la consommation de vapeur surchauffée reste constante par unité de travail, à pleine et à demi-charge. Les chiffres ci-dessous sont décisifs à cet égard [1].

Pression de la vapeur	6k0	8k8	7k0	5k0	6k0	7k3
Travail indiqué en chevaux	90	138	139	166	173	205
Température de la vapeur	265°	288°	275°	270°	270°	285
Consommation par cheval-heure indiqué	6k050	5k920	6k000	5k950	5k950	5k930

Les données expérimentales que nous possédons sur les effets de la surchauffe peuvent par conséquent se résumer dans les lois suivantes :

1° La surchauffe augmente le rendement des machines à vapeur quelles qu'elles soient, monocylindriques, Woolf, compound ou triplex, alors même qu'elles sont pourvues d'enveloppes à circulation de vapeur constituées dans les meilleures conditions ;

2° Le bénéfice croît avec le degré de surchauffe ;

3° La consommation par unité de travail reste constante à pleine et à demi-charge.

Tels sont les faits que la théorie doit expliquer.

Des considérations générales sur le cycle de la machine à vapeur nous fourniront une première démonstration de l'amélioration nécessaire du rendement produite par la température plus élevée de la vapeur à son entrée dans le cylindre moteur.

Le cycle de la machine à vapeur ne répond pas au concept de Carnot. Bien que la chaleur soit cédée au fluide par le foyer à une température constante, que nous appellerons T_1, et qu'elle soit reprise aussi à une température constante T_2 par le condenseur, qui joue ici le rôle et remplit la fonction de réfrigérant, le cycle des machines n'est pas le cycle de Carnot, parce qu'il n'est pas limité d'autre part par deux abiabatiques. La quatrième phase du cycle théorique, celle de compression sans perte ni gain de chaleur, qui doit ramener le fluide à son état initial, fait absolument défaut dans le cycle réel de la machine à vapeur ; au lieu de revenir à la température T_1, le mélange de vapeur et d'eau reste à la température T_2 du condenseur. On peut admettre que le cycle se ferme, mais le cycle n'est pas réversible. Il ne saurait donc être question d'appliquer la formule de Carnot et de calculer le rendement du cycle par la formule $\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$; toutefois, il convient d'observer qu'il ne serait pas impossible de faire cette compression finale et de réintroduire dans la chaudière de l'eau à la température T_1 ; des ingénieurs anglais l'ont essayé, non sans quelque succès, et, s'ils y ont renoncé, c'est parce qu'ils ont constaté que la solution

(1) Un de nos collègues nous a fait savoir, à la suite de notre communication à l'assemblée générale de la Société Industrielle, que ce phénomène avait été observé déjà par plusieurs constructeurs.

de ce problème ne présentait pas un intérêt pratique suffisant. On a donc quelque droit de faire usage de la formule théorique au titre d'une approximation lointaine, et de retenir comme une indication générale les conclusions relatives auxquelles elle conduit. Il doit dès lors être avantageux d'augmenter la chute de température $T_1 - T_2$ en faisant croître T_1 : or, on ne fait pas autre chose en surchauffant la vapeur.

Sous les réserves ci-dessus, voyons quelle valeur prend le rendement, que nous appellerons ρ, quand la vapeur a les températures de 164° centigrades, (pour 6 kg : cm² de pression en vapeur saturée) et celles de 275° et 370° en surchauffe, alors que le condenseur est à 30° ; nous aurons :

$$\left.\begin{array}{l} T_1 = 273^\circ + 164 = 437^\circ \text{ absolus.} \\ T'_1 = 273^\circ + 275 = 548^\circ \quad — \\ T''_1 = 273^\circ + 350 = 623^\circ \quad — \end{array}\right\} T_2 = 273 + 30 = 303.$$

$$T_1 - T_2 = 134^\circ \qquad \rho = 1 - \frac{303}{437} = 0{,}307$$

$$T'_1 - T_2 = 245^\circ \qquad \rho' = 1 - \frac{303}{548} = 0{,}447$$

$$T''_1 - T_2 = 320^\circ \qquad \rho'' = 1 - \frac{303}{623} = 0{,}514.$$

La surchauffe améliore donc progressivement le rendement et elle pourrait procurer, dans une machine fonctionnant d'après le cycle de Carnot, une économie énorme de 67 p. 100, pour une surchauffe de 350°. Nos machines réelles sont loin de réaliser un semblable bénéfice.

Voyons ce qu'elles doivent réellement gagner par la surchauffe.

Le rendement d'un cycle quelconque peut se calculer rigoureusement, pourvu qu'il soit fermé, en faisant le quotient de la chaleur transformée en travail par la chaleur cédée par le foyer, c'est-à-dire à l'aide de la formule $\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, Q_1 étant cette chaleur cédée et Q_2 la chaleur portée au réfrigérant.

Or, nous avons le moyen de calculer exactement Q_1 et Q_2.

Supposons en effet que le cycle soit parcouru par un mélange d'un kilogramme de vapeur et d'eau.

Ce kilogramme est pris dans le condenseur à l'état liquide et à la température de t_2 (1) ; il est refoulé ensuite dans la chaudière où l'eau est portée de t_2 à t_1 et vaporisée. Mais la vapeur saturée n'arrive généralement pas sèche dans le cylindre ; celui-ci reçoit un mélange de vapeur et de liquide contenant une fraction x_1 de vapeur et $1 - x_1$ d'eau.

Ce mélange apporte avec lui la quantité de chaleur Q_1 égale à $\int_{t_2}^{t_1} C\,dt + x_1 r_1$; C est la chaleur spécifique de l'eau, et r_1 sa chaleur de vaporisation à la température t_1 ; si l'on admet que C est constant, on aura

$$Q_1 = C(t_1 - t_2) + x_1 r_1.$$

Ce mélange agit sur le piston à pleine pression d'abord, puis il se détend, en passant de la pression p_1 de la chaudière à celle du condenseur p_2, de la température t_1 à la température t_2. Clausius et Hirn ont découvert que cette détente est fatalement accompagnée d'une condensation partielle, qui abaisse le titre du mélange de x_1 à x_2; Clausius a démontré

(1) Nous désignerons par les lettres t les températures centigrades, et par T les températures absolues.

que x_2 se détermine en fonction de x_1 par la formule

$$\int_{T_2}^{T_1} C \frac{dT}{T} + \frac{x_1 r_1}{T_1} - \frac{x_2 r_2}{T_2} = 0.$$

La valeur de x_2 est donc connue.

Le condenseur condense tout le mélange; il retire donc $x_2 r_2$; c'est la quantité Q_2 ([1]).

Nous avons par suite :

$$\rho = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{C(t_1 - t_2) + x_1 r_1 - x_2 r_2}{C(t_1 - t_2) + x_1 r_1} = 1 - \frac{x_2 r_2}{C(t_1 - t_2) + x_1 r_1}.$$

C'est ainsi que se calcule le rendement ρ d'une machine alimentée de vapeur saturée, au titre x_1.

Dans le cas de la surchauffe, $x_1 = 1$; de plus, la surchauffe coûte en chaleur $c(t'_1 - t_1)$, c étant la chaleur spécifique, supposée constante de la vapeur et t'_1 la température de la surchauffe.

Nous avons donc :

$$Q_1 = C(t_1 - t_2) + c(t'_1 - t_1) + r_1$$

En détente, la vapeur perd graduellement sa surchauffe, passe par l'état de saturation et aboutit finalement à un titre que nous appellerons x'_2, pour le distinguer de x_2; x'_2 est évidemment plus grand que x_2.

Le reste du calcul est identique au précédent ([2]).

Il vient donc :

$$\rho' = 1 - \frac{x'_2 r_2}{C(t_1 - t_2) + c(t'_1 - t_1) + r_1}.$$

Pour se rendre compte de l'effet produit par la surchauffe, il faut déterminer les valeurs respectives de ρ et de ρ' pour un exemple concret; remplaçons donc les symboles par les nombres considérés ci-dessus.

$$t_1 = 164^\circ \qquad t_2 = 30^\circ \qquad t_1 - t_2 = 134^\circ$$
$$r_1 = 490{,}66 \qquad r_2 = 585{,}62$$
$$C = 1{,}013$$

Prenons $x_1 = 0{,}95$; c'est la valeur relevée habituellement; la formule de Clausius donne $x_2 = 0{,}79$.

Tous calculs faits, nous trouvons pour la marche en vapeur saturée :

$$\rho = 1 - 0{,}768 = 0{,}232.$$

En surchauffe :

$$t'_1 = 350^\circ \qquad c = 0{,}48 \qquad x'_2 = 0{,}92$$
$$\rho' = 1 - 0{,}752 = 0{,}248.$$

Le bénéfice est égal à 7 p. 100 environ ([3]).

([1]) Nous ne faisons pas mention de deux termes en $A p_2 u x_2$ qui s'annulent; d'autre part nous négligeons le travail d'alimentation de la chaudière, qui est le même en saturation et en surchauffe, et n'a d'ailleurs qu'une faible valeur.

([2]) Nous ne tenons pas compte dans nos calculs de l'action de l'enveloppe dont l'apport de calorique peut lutter contre la condensation dans une certaine mesure.

([3]) Regnault avait adopté pour la chaleur spécifique de la vapeur, c, la valeur 0,48 que nous appliquons dans notre calcul; mais il est bien probable que ce coefficient croît avec la température et qu'à 350° le chiffre de Regnault devrait être majoré; le bénéfice augmenterait en conséquence.

Avant de discuter ce résultat, nous ferons observer que nos calculs nous ont fourni une indication précieuse ; ils nous montrent que, dans une détente effectuée depuis la pression correspondante à 164°, en saturation, jusqu'à celle d'un condenseur maintenu à 30°, alors même qu'on surchauffe à 350°, la vapeur perd entièrement sa surchauffe et que son titre tombe même à 0,92. Cela n'arriverait pas dans le cas d'une détente moins complète, ainsi que je l'ai constaté pour une machine sans condensation avec surchauffe à 365°, dont la vapeur s'échappait dans l'atmosphère à une température de 118° [1] ; le phénomène serait donc moins marqué dans la pratique, parce qu'on détend rarement la vapeur jusqu'à la pression du condenseur ; néanmoins, on peut dire que la surchauffe est d'ordinaire insuffisante pour qu'elle se maintienne jusqu'à la fin de la course.

Pour obtenir ce résultat, il serait nécessaire de partir d'une température beaucoup plus élevée que 350°.

Quelle est exactement cette température ?

Le thermodynamique nous permet de répondre à cette question.

En effet, Clausius a admis que la vapeur d'eau surchauffée se détendait comme un gaz et que la formule de Poisson, $pv^{\gamma} =$ constante lui était applicable à condition de faire l'exposant γ égal à 1,28. Il en résulte que les températures absolues et les pressions sont liées par la formule connue :

$$\frac{T'_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}}.$$

Passant aux nombres, nous trouvons :

$$T'_1 = 303 \left(\frac{7}{0{,}0429}\right)^{0{,}218} = 920^{\circ} \text{ absolus} = 647^{\circ} \text{ centigrades.}$$

Pour arriver dans une machine à condensation et à détente complète, à fin de course, avec de la vapeur absolument sèche, sans tenir compte de l'action de l'enveloppe, il faudrait donc surchauffer à plus de 600° : nos arrière-neveux réaliseront peut-être ces températures et ils auront à s'en féliciter, car la valeur du rendement ρ recevrait un accroissement remarquable ; le calcul donne en effet dans ce cas :

$$\rho = 0{,}375$$

Pour le coup, le moteur à gaz serait dépassé.

A l'heure présente, le cas que nous venons de considérer est, il est vrai, absolument fictif et rien que théorique ; mais les tenants de la vapeur retiendront sans doute les conclusions de notre calcul. D'autres se contenteront de noter que la théorie est d'accord avec la pratique, attendu qu'elle annonce, ainsi que nous l'avons constaté expérimentalement, qu'il y a un bénéfice croissant avec le degré de surchauffe, au delà même de 400°.

Mais on constatera aussi que le bénéfice promis par le calcul est moindre que celui qu'on a réalisé : le cas est intéressant, attendu qu'un calcul spéculatif de l'espèce de celui que nous venons de faire devrait conduire à des résultats supérieurs à ceux que fournit l'expérience, puisqu'il s'applique à une machine relativement parfaite, et qu'il n'a fait entrer en ligne de compte aucune déperdition.

Comment se fait-il donc que le calcul n'indique que 7 p. 100 d'économie, alors qu'on obtient quelquefois 18 p. 100 ?

---

[1] Il s'agit d'une petite machine Buffaud et Robatell, alimentée par un générateur-surchauffeur Serpollet, que j'ai essayée en 1896 à Paris ; elle consommait 5,88 kg de vapeur par cheval-heure effectif, sous 14 kg : cm² de pression.

Le calcul est-il faux ou bien est-il incomplet ?

Nous allons voir qu'il est incomplet.

Hirn avait en effet déjà rencontré de semblables divergences entre la théorie et les faits, et il avait été amené de la sorte à déclarer que toutes ces théories qu'il appelait *génériques* étaient insuffisantes, parce qu'elles négligeaient un élément capital dans la question, *l'action de paroi*.

Il nous reste donc à faire intervenir dans l'étude des phénomènes qui se succèdent à l'intérieur du cylindre, cette influence prépondérante du métal au contact duquel la vapeur évolue dans le cycle, en appliquant la théorie *expérimentale* du maître ([1]).

La surchauffe de la vapeur a pour premier effet de transformer un fluide immédiatement condensable en un gaz susceptible de céder une certaine quantité de chaleur sans se condenser, et j'ai démontré, en 1878, que les gaz perdent moins de calorique au contact des parois des enceintes qui les renferment que les vapeurs condensables ; l'action de paroi est donc moindre sur la vapeur surchauffée que sur la vapeur saturée, et la détente s'approche davantage d'être adiabatique.

Mais c'est le petit côté de la question, car voici une autre considération bien plus décisive et une influence beaucoup plus énergique. Quand la vapeur arrive à fin de détente à l'état de saturation, elle dépose de la buée sur la paroi intérieure du cylindre ; cette buée s'évapore au moment où le cylindre est mis en communication avec le condenseur, en empruntant au métal la chaleur qui lui est nécessaire, et ce phénomène occasionne la perte que Hirn a dénommée *le refroidissement au condenseur*. C'est cette perte qui contribue le plus à l'abaissement du rendement des machines. « La cause la plus désastreuse de perte de chaleur, dit Hirn, c'est l'évaporation instantanée de l'eau qui reste le long des parois des cylindres à la fin de la détente et au moment où se fait l'échappement au condenseur ([2]) ».

Cette évaporation a pour résultat immédiat de refroidir tellement le métal qu'il se produise au début du cycle suivant, lors de l'admission consécutive, une condensation de vapeur abondante, qui abaisse le titre de la vapeur admise, mouille de nouveau la paroi et aggrave le mal jusqu'à ce qu'un état de régime soit établi. Ces phénomènes constituent une cause de détérioration du cycle des plus graves ; la quantité de chaleur perdue par cette voie peut dépasser de beaucoup la quantité de chaleur qui se transforme en travail.

Or, il est évident que cette détérioration est d'autant plus importante que x_2 est plus faible ; elle est donc fortement réduite par la surchauffe, puisque x'_2 est toujours plus grand que x_2.

Mais ce n'est pas tout : si la surchauffe de la vapeur admise est telle que $c(t'_1 - t_1)$ soit plus grand que le refroidissement au condenseur, la vapeur ne se condensera pas durant la phase d'admission : il en résultera par suite un bénéfice considérable que la théorie générique néglige entièrement ; c'est en cela qu'elle est incomplète.

Nous voyons donc pourquoi le calcul ne nous a fait trouver que 7 p. 100 d'économie, alors que la pratique en donne parfois 17.

La constance de consommation constatée à demi-charge s'explique par ces mêmes considérations ; avec de la vapeur saturée, x_2 est d'autant plus faible que la détente est plus complète, et sa valeur doit donc diminuer avec la charge ; c'est pourquoi la consommation

---

([1]) Witz. — De l'effet thermique des parois d'une enceinte sur les gaz qu'elle renferme ; Thèse inaugurale soutenue devant la Faculté des Sciences de Paris, et Annales de chimie et de physique, 5e série, Tome XV, 1879.

([2]) Hirn. — Exposition analytique et expérimentale de la Théorie mécanique de la chaleur, 3e édition, tome II, page 65, Paris, 1875.

à demi-charge est toujours plus grande qu'à pleine charge, même par cheval-heure indiqué. Mais en surchauffe, la variation de x'_2 est beaucoup moins marquée et le rendement ne varie qu'insensiblement.

Puisque x'_2 n'est jamais égal à 1 par défaut de surchauffe, le concours de l'enveloppe de vapeur et des expansions multiples reste utile ; la surchauffe doit donc être économique pour toutes les machines ainsi que l'expérience le démontre.

Mais son action ne dépasse guère le cylindre à haute pression des machines compound et triplex, et les condensations intérieures se reproduisent dans les cylindres suivants. Il serait donc rationnel de faire encore une certaine surchauffe dans les *receivers*, au passage d'un cylindre à l'autre, ainsi que l'ont proposé les ingénieurs de MM. Sulzer frères et ainsi que cela a été pratiqué en Allemagne, avec succès, nous a-t-on dit.

La théorie expérimentale complétant les conclusions de la théorie générique, rend dès lors suffisamment bien compte des diverses particularités observées dans la marche en surchauffe et elle explique le bénéfice réalisé, qui est dû à la plus grande chute de température entre le foyer et le réfrigérant, aux conditions meilleures de la détente et principalement à la diminution, sinon à la suppression complète du refroidissement au condenseur.

Ces considérations sont de nature à encourager les praticiens à poursuivre leurs essais et à persévérer dans leurs tentatives ; il s'agit surtout de perfectionner les surchauffeurs et de construire des moteurs qui permettent l'emploi des températures élevées, sans leur faire perdre la sécurité du fonctionnement qui est la qualité maîtresse des appareils à vapeur.

Nos plus habiles constructeurs se sont mis à la tâche ; on peut espérer qu'ils réussiront bientôt.

En attendant tous les industriels ont intérêt, dès maintenant, à adjoindre des surchauffeurs à leurs générateurs de vapeur, et il suffira d'une surchauffe très modérée pour donner des résultats appréciables, dans n'importe quelle machine. Aimé Witz.

TRACTION A COURANT CONTINU

ET TRACTION A COURANTS TRIPHASÉS

A la suite de la publication, dans le numéro du 16 mai (p. 271) d'une partie de la communication de M. Marchéna à la séance d'avril de la Société internationale des Electriciens, M. J. Szasz, ingénieur électricien à Budapest, nous adressait, à la date du 27 mai, la lettre ci-dessous.

Comme on le verra par les premières lignes de cette lettre, M. Szasz ne veut pas rouvrir la discussion engagée devant la Société des Électriciens. Aussi ne relève-t-il que les notes dont la communication était accompagnée, notes qu'il attribue à la rédaction du journal. En réalité, ces notes se trouvaient dans le texte de la communication de M. Marchéna reproduite dans le *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, mais nous reconnaissons qu'aucun signe n'indiquait qu'elles fussent extraites de ce *Bulletin* et nous admettons la méprise de M. Szasz. Nous l'admettons d'autant plus volontiers qu'elle nous permet de présenter à nos lecteurs quelques remarques d'un partisan convaincu de la traction par courants triphasés, remarques qui présentent un intérêt général; nous remercions donc M. Szasz d'avoir pris la peine de nous les communiquer.

J. B.

Budapest, le 27 Mai 1903.

Monsieur,

J'ai lu avec intérêt le mémoire de M. Marchéna, reproduit au n° 20 de *L'Éclairage Électrique*, mémoire traitant de la ligne électrique de Milan-Gallarate et établissant une comparaison entre les systèmes de traction à courant continu et à courants triphasés. Il y a bien des choses qu'il y aurait lieu d'opposer aux points de vue exposés par M. Marchéna contre le dernier système et, en partie, MM. Boucherot et Korda se sont chargés de le faire, lors de la discussion. Cependant, comme je ne voudrais pas abuser de votre obligeance pour renouveler dans les colonnes de votre journal une discussion, engagée et terminée par la Société Internationale des Electriciens, je ne vais plus toucher au mémoire même et ne me propose que de revenir par quelques mots sur les remarques que vous avez jugé bon de rattacher aux déductions de M. Marchéna.

Vous prétendez que « les bagues des moteurs triphasés, ne pouvant être court-circuitées le démarrage terminé, sont constamment traversées par les courants du rotor, d'où résulte une usure des bagues et des balais comparable aux dépenses d'entretien d'un collecteur de moteur à courant continu, » — ce qui a pour effet, d'après les expériences d'une pratique prolongée, d'exagérer l'importance de l'usure des bagues et de ses balais. Rien n'empêche, cependant, de donner aux bagues des dimensions suffisantes pour qu'elles ne s'échauffent pas trop et on ne saurait prétendre que dans ces conditions on soit exposé nécessairement à des inconvénients dans les services à courants triphasés. Du moment qu'il n'y a pas de causes produisant des étincelles, la source la plus notable de l'usure des balais et des bagues se trouve supprimée. Donc, tandis que d'un côté les causes de l'usure des bagues n'égalent pas celles des collecteurs, de l'autre côté la fonction de ceux-ci est d'une nature beaucoup plus délicate et difficile que celle des bagues. Ce simple raisonnement suffit à motiver l'opinion généralement reçue et d'ailleurs d'accord avec les faits, que les bagues et leurs balais exigent beaucoup moins d'entretien que les collecteurs et qu'elles ne peuvent pas être comparées à ceux-ci.

Une seconde remarque, au sujet de la distance des stations transformatrices entre elles, attribue la petite valeur de ces distances aux variations de la tension provoquées par le fait, que pour les moteurs à courants triphasés, l'intensité du courant doit augmenter par un processus automatique dès qu'une chute de tension vient de se produire. Cependant il est évident que cette circonstance n'a aucune importance. Si on a calculé la canalisation pour une chute de tension de n p. 100 à la tension normale, l'intensité du courant devra, à la suite de cette chute, être $\frac{1}{1-n}$ fois plus grande qu'elle ne le serait à la tension initiale. Au courant ainsi augmenté correspond une chute qui, au lieu de n p. 100, aura pour valeur $\frac{n}{1-n}$ p. 100, etc. On voit que la valeur finale de la tension sera représentée par un nombre ne différant que par un pourcentage de la chute, de la tension qui correspond au calcul primitif. Le fait mentionné ne comporte donc aucun inconvénient et ne pourrait nullement avoir de l'influence sur l'espacement des transformateurs. Celui-ci pourra être simplement déterminé d'après la chute de tension admissible, tenant compte des intensités normales de courants et des sections choisies des conducteurs. En tout cas il faudra observer une certaine réserve pour la chute admissible en raison des couples des moteurs à induction ; mais cette réserve est compensée par le libre choix de la tension de service, circonstance grâce à laquelle on sera toujours à même de déterminer la distance des transformateurs pour correspondre aux points de vue de l'utilité et non de nécessité. De plus, les transformateurs statiques représentent un moyen tellement simple et économique pour installer un point d'alimentation qu'on pourra aisément en établir autant qu'il est désirable, tenant compte d'une longueur raisonnable d'une section qui en cas de nécessité doit pouvoir être détachée de la ligne ; pour le courant continu, au contraire, on se gardera d'établir plus de sous-stations qu'il n'est absolument nécessaire, tenant compte des conditions de courant et de tension.

Dans un autre ordre d'idées, il convient de faire remarquer que, par l'augmentation du

nombre des sous-stations on a le moyen, avec le système à courants triphasés, de réduire les pertes d'énergie, causées par les conducteurs de contact, à une valeur minima quelconque; tandis qu'avec le courant continu on ne saurait atteindre un tel avantage qu'au prix de sous-stations tellement coûteuses qu'il est bien préférable d'y renoncer.

Il ne faudra donc pas se tromper, en comparant les distances des sous-stations des lignes Valteline et Milan-Gallarate, sur les raisons observées lors de leur établissement.

En outre, si on parvient avec le système à courant continu à placer les sous-stations à des distances assez considérables, ce n'est qu'à l'aide de conducteurs d'alimentation (feeders). Ces feeders sont complètement supprimés avec le système triphasé puisqu'on n'en a pas besoin. S'il était nécessaire d'y recourir, il est évident qu'ils se prêteraient comme moyen d'adduction du courant aussi bien pour ce système que pour celui à courant continu.

Vous constatez enfin que les lignes de la Valteline ont nécessité l'installation d'une usine de 6 000 chevaux pour assurer l'alimentation de dix voitures automotrices de 450 chevaux et de deux locomotives de 600 chevaux, tandis que la ligne Milan-Gallarate, desservie par vingt voitures automotrices de 600 chevaux et une locomotive d'égale puissance, n'est alimentée que par une usine de 4 500 chevaux. Vous prétendez que la différence est uniquement due à l'écart beaucoup plus grand, dans le premier cas, entre le travail maximum et le travail moyen à fournir au réseau.

Je me borne, pour mettre en lumière ces conditions qui pourraient discréditer le système triphasé s'il en était en effet ainsi que vous prétendez, à constater les faits suivants :

1) L'usine centrale de la ligne Milan-Gallarate a une puissance maxima de 6 000 chevaux; la capacité de la station centrale de la Valteline n'est également que de 6 000 chevaux au maximum. Les deux usines ont donc la même capacité. Seulement (V. *Revue Gén. d. Chem. d. fer*, 1902, t. XXV, p. 143), tandis que dans la première installation la station centrale a une efficacité telle, qu'après la mise en service de tous les groupes de machines, il est possible de faire le service maximum, à la Valteline, au contraire, une seule machine suffit au trafic et on ne fait, généralement, marcher qu'un seul groupe. En effet, la station centrale de la Valteline n'a été équipée de trois groupes qu'en vue de différents buts industriels, pour lesquels la Società per la Trazione, Elettrica sulle Ferrovie avait l'intention de se servir de l'énergie fournie par cette station centrale; plus tard la Società per la Strade Ferrate Meridionali, Rete Adriatica, ayant eu en perspective l'installation des lignes Lecco-Milano, Como-Lecco et Lecco-Bergamo, a racheté le droit d'exploitation de l'énergie de la « Trazione » pour se servir également de l'énergie de cette station centrale. On voit donc que, si on a installé cette usine pour une capacité si grande, ce fut pour des considérations tout à fait différentes des motifs que vous avez donnés et que cette capacité est très loin d'être exigée par le trafic actuel des trains de la Valteline.

2) Le service maximum comporte à Milan-Gallarate (v. *loc. cit.*) 6 trains composés d'une voiture automotrice et d'une voiture de remorque pesant au total 65 à 90 tonnes. A la Valteline il y a le même nombre de trains simultanés mais qui sont d'un poids de 110 à 150 tonnes. Voilà des conditions qui pourraient bien motiver une capacité plus grande de la station centrale de la Valteline ; en réalité, pourtant, la capacité de la station destinée au trafic des trains est plus grande pour la ligne Milan-Gallarate qu'à la Valteline.

3) La consommation d'énergie (v. *loc. cit.*, p. 144) des trains électriques à Milan-Gallarate ne dépasse pas 65 watts-heure par tonne kilométrique mesurée sur la voiture même, lorsque le train marche sans arrêt de Milan à Gallarate. La consommation d'énergie des trains de la Valteline, mesurée à l'usine centrale, ne comporte que 42 à 50 watts-heure par tonne kilométrique ; ce nombre contient donc aussi les pertes des lignes et des sous-stations.

J'ai jugé utile de citer ces quelques données pour défendre le système triphasé contre des attaques encore trop nombreuses et imméritées.

Veuillez agréer, etc.

Jules Szasz,
Ingénieur-électricien à Budapest.

****

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

GÉNÉRATION ET TRANSFORMATION

Accumulateur Henry J. Cogswell (Hartford Accumulator Company). Brevet américain n° 699 658 du 26 octobre 1899. *Centralblatt für Accumulatoren-Elementen-und Accumobilenkunde*, t. IV, p. 70, 15 mars 1903.

Chaque électrode se compose d'une baguette k (fig. 1) avec anneaux i_1 à intervalles déterminés, fabriquée en plomb antimonieux et d'une seule pièce. Entre deux anneaux on dispose un

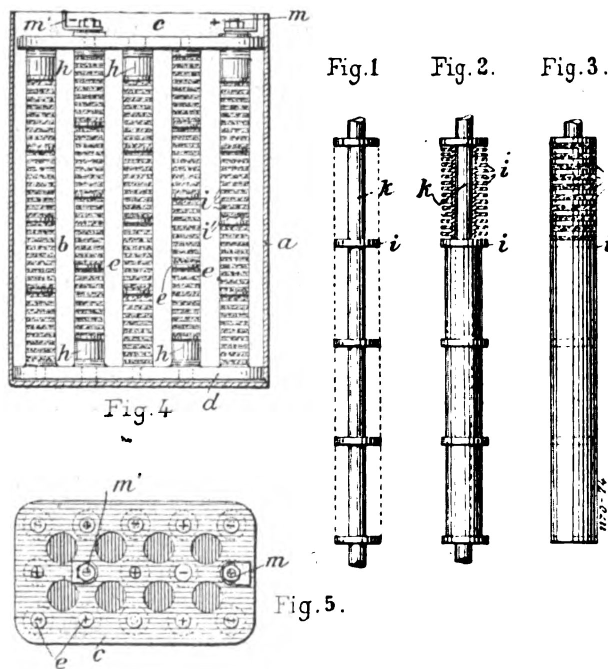


Fig. 1 à 5.

manteau en plomb doux qui est laminé de façon à présenter un certain nombre de disques parallèles, ainsi qu'il est représenté à la partie supérieure de la figure 2. La matière active est ensuite logée entre ces disques et la tige terminée a l'aspect donné par la figure 3. Dans le montage en élément, les tiges e possèdent à une extrémité une pièce isolante h. Les figures 4 et 5 montrent que les tiges sont alternativement de pôle contraire et que les pièces isolantes extrêmes sont alternativement en haut et en bas. Ces pièces isolent ainsi les tiges de la barrette de connexion qui relie les tiges de polarité opposée.

L. J.

Plaque d'accumulateur Auguste Bainville. Brevet américain n° 719 418, du 14 juillet 1902. *Centralblatt f. Accumulatoren - Elementen - und Accumobilen Kunde*, t. IV, p. 69, 15 mars 1903.

Les plaques composées d'une série de cylindres avec ailettes sont isolées les unes des autres par le dispositif représenté en figures 1 et 2. A cet effet, on enfile entre les tiges d'une même plaque un séparateur en matière isolante, perforée et ondulée.

Les différents séparateurs sont placés de telle façon que la paroi isolante touche à la fois le

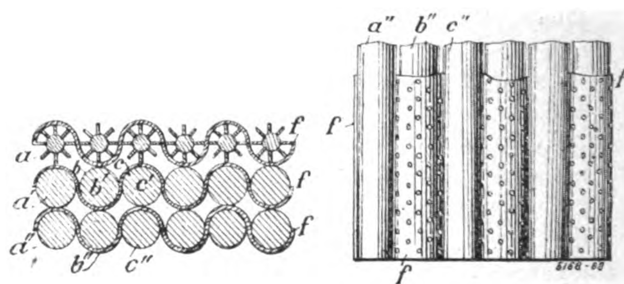


Fig. 1 et 2.

côté antérieur d'une tige d'une plaque et le côté postérieur de la tige correspondante de l'autre plaque.

Cette disposition a pour but de donner une solidité suffisante à tout le système et de permettre de construire des plaques minces sans augmenter le danger de courts-circuits.

Elément galvanique réversible Thomas A. Edison. Brevet américain 723 450 du 28 novembre 1902. *Centrablatt f. Accumulatoren-Elementen-und Acumobilen-kunde*, t. IV, p. 122, 15 mai 1903.

Le brevet 125 802 du 3 octobre 1902 mentionnait l'addition d'un corps facilement réductible, comme le cuivre, le mercure ou l'argent, à l'oxyde de fer difficilement réductible afin de créer au début de la décharge un bon contact métallique entre les particules actives et par suite de maintenir une tension plus élevée aux bornes.

Ici, on recommande particulièrement dans ce but soit le mercure seul (mais il est trop coûteux), soit ce métal combiné avec un des autres métaux facilement réductibles, le cuivre entre autres.

La combinaison cuivre-mercure a sur le cuivre nu l'avantage d'une protection de la surface de cuivre contre la réoxydation. Un autre avantage d'une telle addition est de rendre superflu l'emploi du graphite, de sorte que celui-ci n'est plus employé que sur l'électrode de nickel.

Pour la préparation, on mélange du fer actif finement divisé à l'état humide, du cuivre ammoniacal et de l'oxyde de mercure précipité, dans la proportion 64 p. 100 de fer, 30 p. 100 de cuivre et 6 p. 100 de mercure. Le fer réduit aussitôt les deux autres métaux en passant partiellement à l'état d'oxyde et il se forme, avec dégagement de gaz ammoniaque, de l'amalgame de cuivre qui recouvre les particules élémentaires de fer.

Ce mélange peut être aussitôt comprimé en forme de briquettes.

Si on emploie le mercure seul, la meilleure proportion à prendre pour celui-ci est de 2 de mercure pour 8 de fer.

Le brevet insiste particulièrement sur ce fait que cette addition n'est pas à considérer pour l'électrode de nickel. L. J.

APPLICATIONS MÉCANIQUES

Appareils de levage Thomson-Houston. *Bulletin mensuel de la Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston*, 15 mai 1903.

Cette notice décrit divers appareils de levage ou de déchargement plus spécialement utilisés sur les canaux, dans les usines et les établissements métallurgiques.

Tous ces appareils sont actuellement en service en France, ils ont été construits à Paris, dans les ateliers Postel-Vinay.

L'appareil que représente la figure 1 est utilisé à Nancy, aux Etablissements Capit, pour le chargement et le déchargement des bateaux, le transport des marchandises devant, dans l'un ou l'autre cas, être effectué au-dessus du quai de halage.

Il repose, comme on le voit, sur un portique mobile, roulant d'un côté sur un double rail établi sur la berge, et de l'autre côté sur le mur qui sépare les magasins du quai.

La longueur des poutres sur lesquelles roule le treuil est de 25 m et, dans sa position de travail, l'appareil a sur le canal une portée de 9 m à partir de l'axe du rail de roulement, la course du crochet étant également de 9 m. Cette portée peut être toutefois complètement supprimée, afin de permettre le passage des mâts de bateaux. Pour cette manœuvre, qui ne demande que deux minutes, on utilise simplement le treuil de levage; après avoir fixé le crochet en un point déterminé, le moteur est mis en marche, et en raison de la résistance, les poutres inférieures glissent sur des galets disposés sur le portique. Le déplacement de ce dernier est obtenu, à la vitesse de 30 cm par seconde, au moyen d'un moteur de deux chevaux; le mouvement de levage est réalisé à la vitesse de 40 cm par seconde à l'aide d'un moteur d'une puissance de 10 chevaux; enfin il est employé, pour la translation de la charge, un troisième moteur d'un cheval. Ces moteurs sont alimentés par du courant continu à 440 volts et commandés par des contrôleurs spéciaux placés dans la cabine qui surmonte le treuil.

La figure 2 montre un appareil installé à Neuves-Maisons pour le déchargement rapide des marchandises qui y sont amenées par voie de fer et voie d'eau et notamment pour le déchargement des bateaux de charbons.

Il est établi sur une armature reposant elle-même sur des chevalets munis de 8 galets de roulement et distants de 8,50 m d'axe en axe. Ces galets sont actionnés à l'aide d'engrenages droits et coniques par un moteur de 50 chevaux placés à la partie centrale de la grue, au-dessus de la cabine.

La longueur des poutres horizontales formant le chemin de roulement du treuil est de 50 m; celle de la volée de 17,50 m et celle de la culasse de 24 m.

Les principales caractéristiques de cet appareil sont les suivantes;

Charge normale.	2 200 kg.
Vitesse de levage	30 m par minute
Vitesse de direction du treuil.	180 m »
Vitesse de translation de la grue.	90 m »
Course du crochet. . . .	10 m

La charpente est établie de telle façon qu'à l'aide d'un frein bloqueur magnétique il est possible d'arrêter le mouvement de translation de l'appareil sur une distance de 1,50 m lorsque ce dernier est lancé à la vitesse normale de 90 m par minute.

Le treuil (fig 3) comporte deux moteurs : l'un est utilisé pour le mouvement de levage et l'autre pour celui de direction ; ils sont d'une puissance respective de 25 et de 10 chevaux.

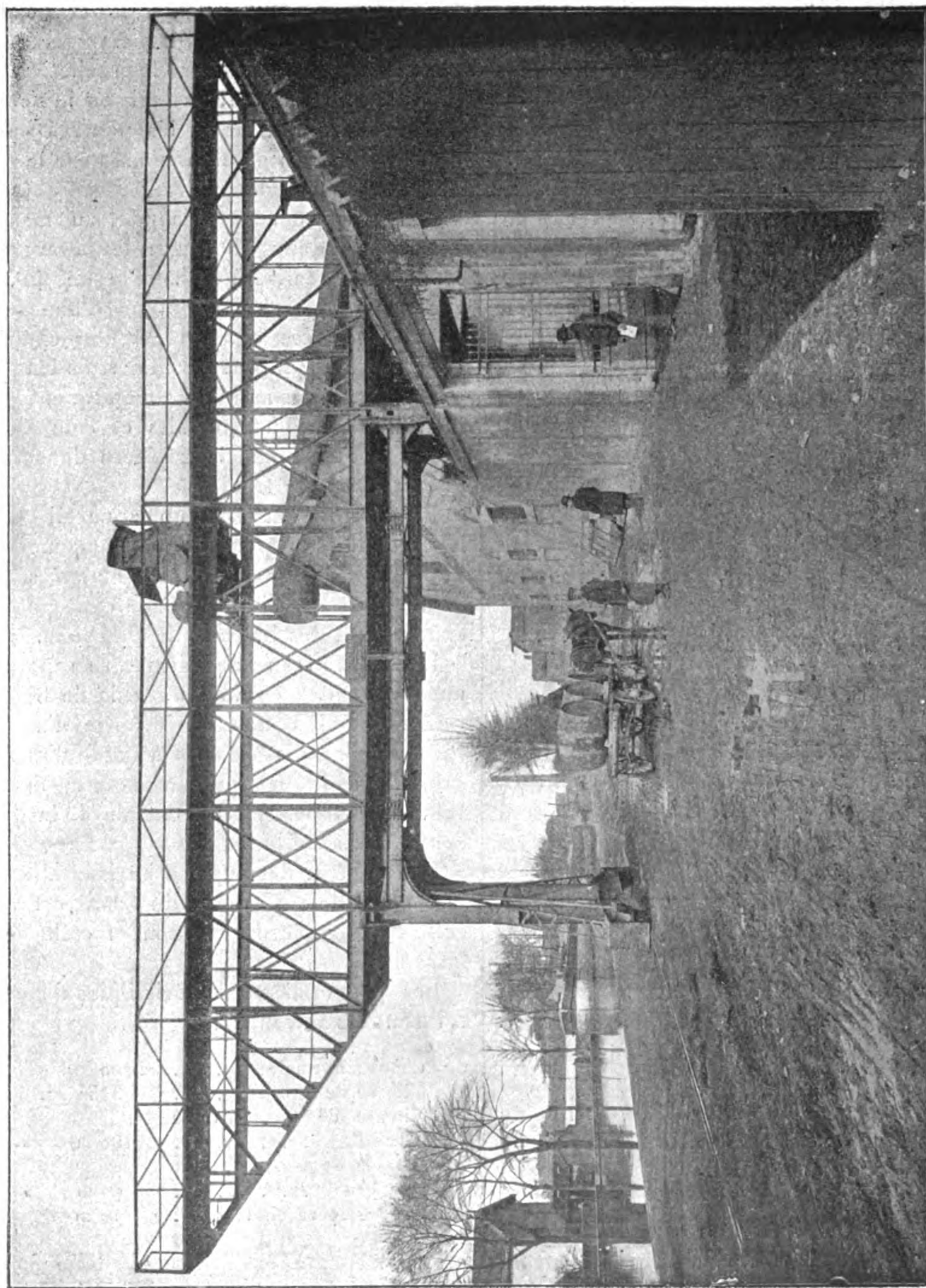


Fig. 1. — Portique de déchargement.

La benne qui est suspendue par quatre chaînes, et cela pour éviter toute oscillation pen- son déplacement, s'ouvre automatiquement au moyen d'un électro-aimant adapté à la partie supérieure du crochet et commandé de la cabine qui contient également les autres appareils

de manœuvres et les indicateurs de position. Grâce à ces derniers, le conducteur placé dans la cabine voit constamment la position exacte de la benne, même lorsque celle-ci a franchi le mur.

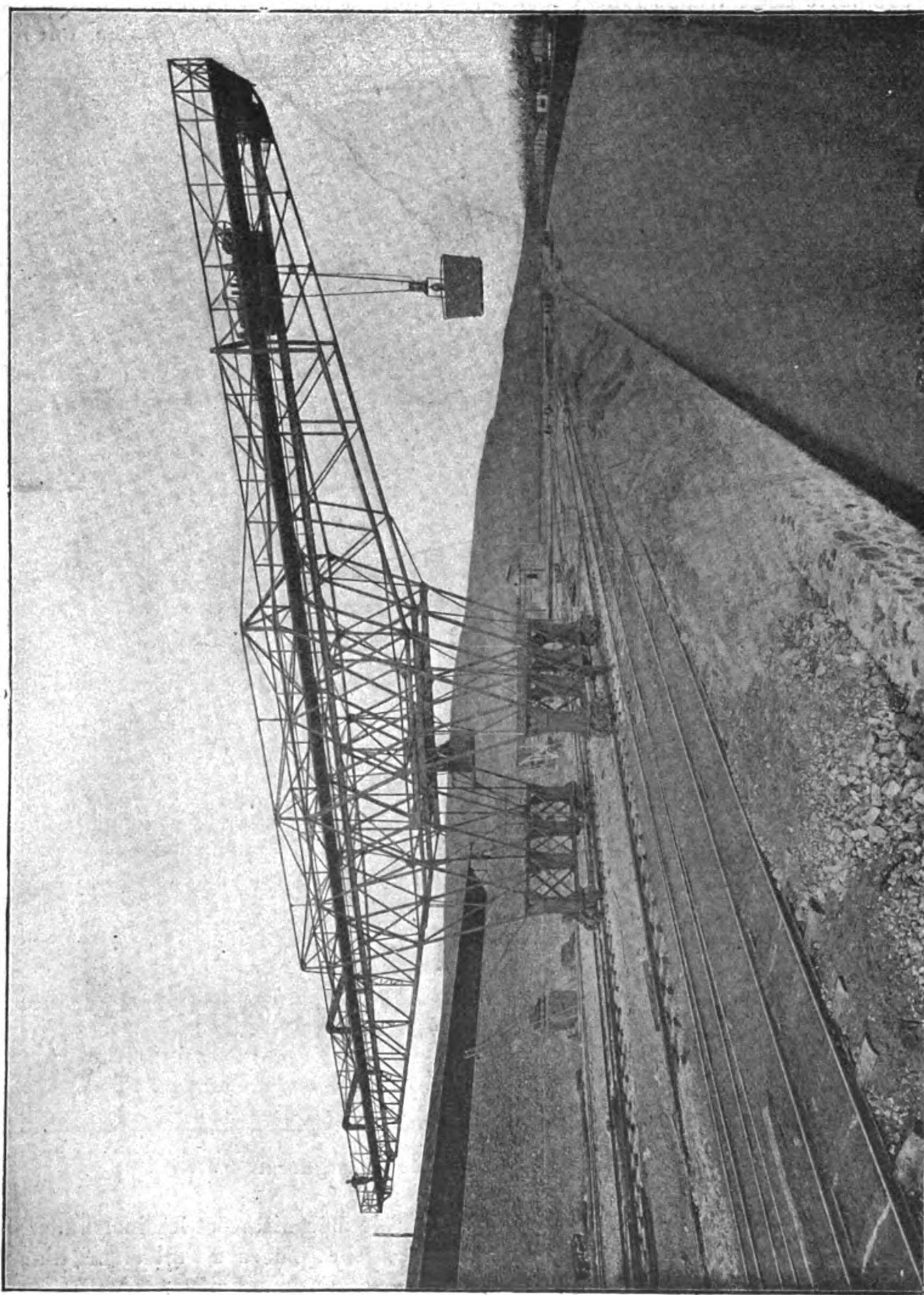


Fig. 2. — Appareil de déchargement.

Les indicateurs de position sont commandés électriquement par des taquets placés sur les tambours de levage et sur les axes de galets de direction du chariot. Les moteurs sont alimentés par du courant continu à 500 volts amené aux moteurs et contrôleurs par l'intermédiaire de

trôlets et de frotteurs, spécialement étudiés pour être adaptés à ces appareils de levage.

La figure 4 montre une grue fixe, montée sur pivet. Elle comporte deux treuils indépendants qui donnent : l'un le mouvement de translation de la charge, l'autre celui de rotation ; ils sont actionnés, le premier par un moteur de 7 chevaux le second par un moteur d'un cheval.

Pour les manœuvres il est utilisé deux contrôleurs spéciaux placés, comme on le voit, à

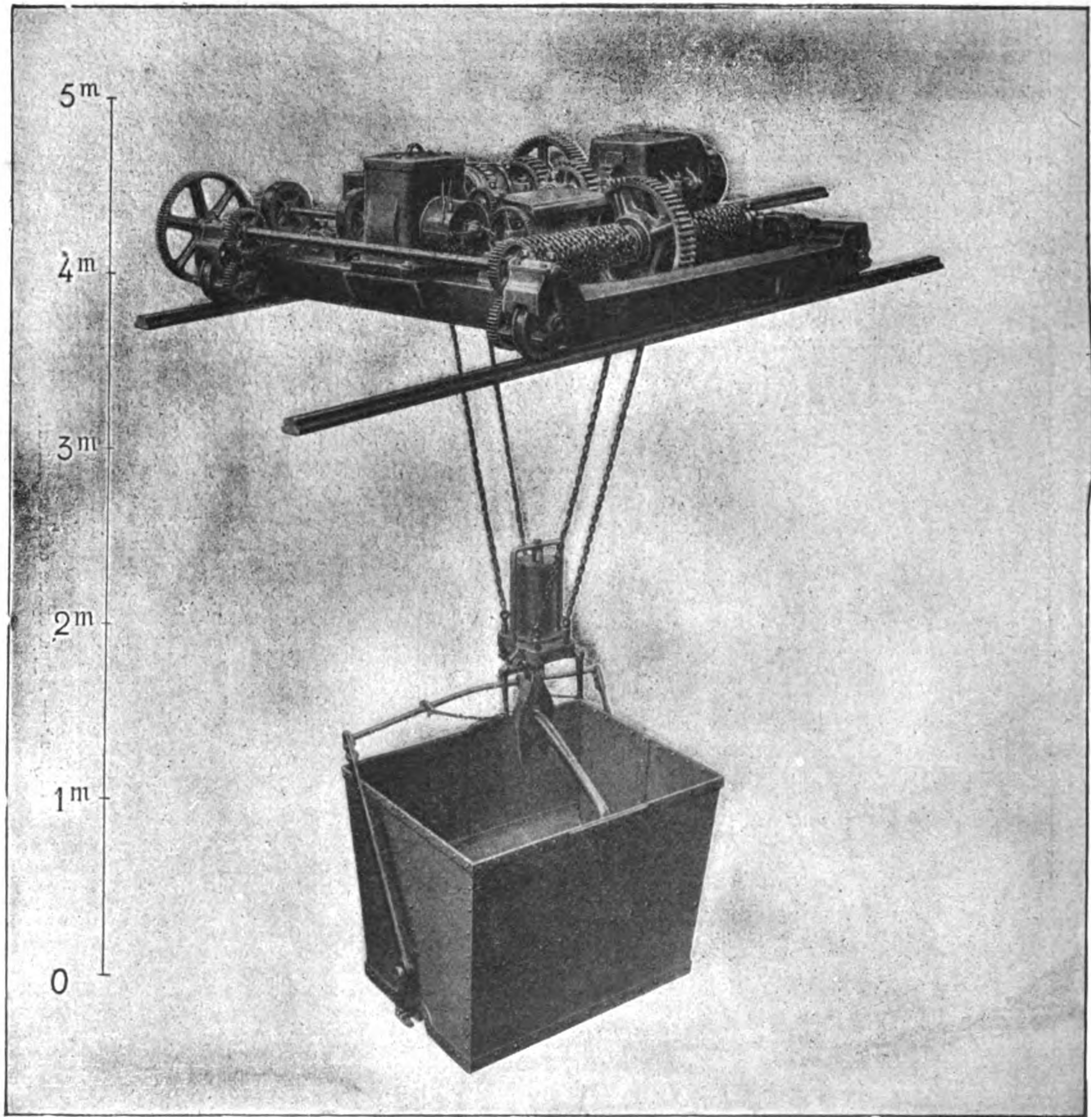


Fig. 3. — Treuil de l'appareil de déchargement.

l'avant de la grue ; de cette façon le conducteur observe constamment la marche de la charge.

Les principales caractéristiques de l'appareil sont les suivantes :

Charge normale.	1 000 kg
Hauteur de levée	15 m
Vitesse de levée.	25 m par minute
Vitesse de rotation . . .	2 tours par minute.

Tout le mécanisme et les instruments de manœuvres sont placés à l'intérieur d'une cabine en tôle, entièrement close.

Le courant est amené aux moteurs par l'intermédiaire de deux frotteurs placés sur le socle fixe et communiquant à deux cercles établis sur la plateforme tournante.

Des grues du même genre, pour charges normales de 1500, 1800, 2000 et 9000 kg sont actuellement en service dans un grand nombre d'exploitations industrielles.

Parmi les installations les plus intéressantes des ponts roulants électriques, dont la Société Thomson-Houston a été chargée, il convient de citer celles qui ont été réalisées aux Usines de Louvroil, de Neuves-Maisons, de Longwy et aux ateliers Sculfort de Maubeuge.

Ces divers appareils, de puissance plus ou moins élevée, étant identiques comme construction générale, nous nous bornerons à décrire dans ses lignes principales le chariot utilisé sur

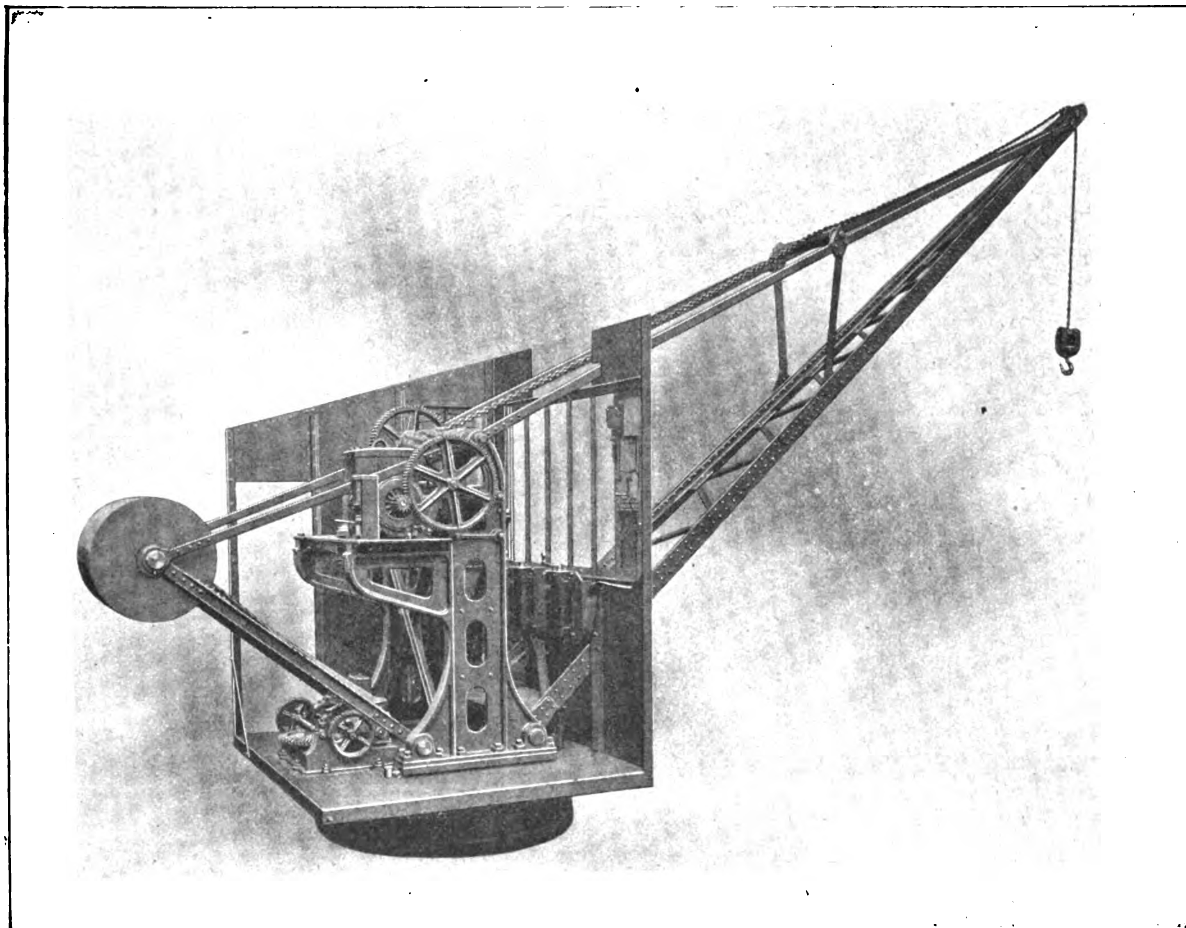


Fig. 4. -- Grue fixe a tambour.

le pont de 30 tonnes installé aux Ateliers Sculfort de Maubeuge et représenté par la figure 5.

Ce chariot comporte deux treuils absolument indépendants : un treuil de translation commandé par un moteur de 10 chevaux et un treuil de levage commandé par un moteur de 40 chevaux.

L'équipement électrique a été tout spécialement étudié et construit en prévision de cette application : les moteurs ont beaucoup de points de ressemblance avec ceux utilisés sur les voitures de tramways ils sont complètement enfermés et tournent à des vitesses lentes.

Les contrôleurs, dont la construction diffère également peu de celle des modèles pour tramways Thomson-Houston, sont munis de bobines de soufflage ainsi que de séparateurs d'arcs. Une seule manette commande le démarrage, le réglage de la vitesse et le changement de marche du moteur.

Des interrupteurs automatiques sont disposés sur chaque circuit afin d'éviter le passage de courants anormaux, le levage de charges trop fortes et, par suite, une détérioration rapide des moteurs.

Le mouvement de levage comporte deux freins : l'un magnétique appelé à fonctionner en cas d'interruption du courant, l'autre mécanique utilisé pour arrêter la charge en un point quelconque de sa course et régler la vitesse de descente.

Sur le chariot, comme tous ceux d'ailleurs

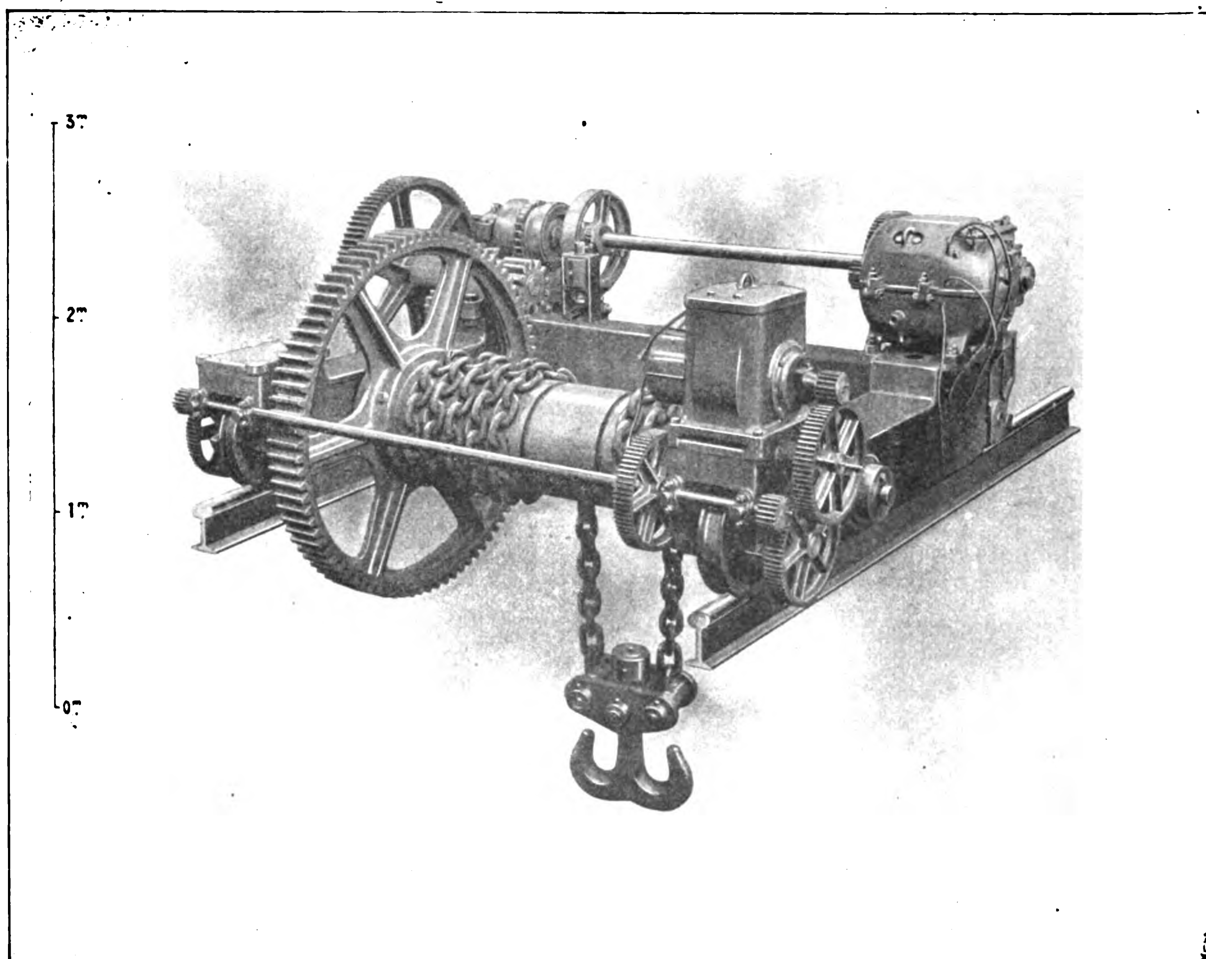


Fig. 5. — Chariot du pont roulant de 30 tonnes.

que construisent les ateliers Postel-Vinay, il est exclusivement employé des engrenages droits comme moteurs de vitesse ; grâce à ce dispositif on a pu obtenir, pour chacun des treuils, des rendements variant de 70 à 80 p. 100. Enfin le crochet de levage repose sur des billes, ce qui permet une facile orientation des plus lourdes charges.

Pour le transport des matériaux ou des objets manufacturés, on emploie ordinairement, dans les usines de grande importance, soit des ponts roulants, soit des plateaux ou des wagonnets, mais les installations de ce genre nécessitent, on le conçoit, des frais d'installation assez considérables ; aussi les établissements de moindre importance hésitent-ils généralement avant de les adopter.

Dans ces établissements, c'est-à-dire dans ceux où les charges à transporter sont plus réduites, on a substitué, aux ponts roulants et aux wagon-

nets, très encombrants dans les usines, dont les dimensions sont parfois réduites, des palans transbordeurs du genre de celui que représente la figure 6.

Ces appareils possèdent notamment les avantages suivants : frais de premier établissement très réduits ; extrême facilité de manœuvre ; il suffit en effet d'une simple poutre en bois ou d'une poutrelle mécanique pour établir le chemin de roulement et comme ce chemin peut

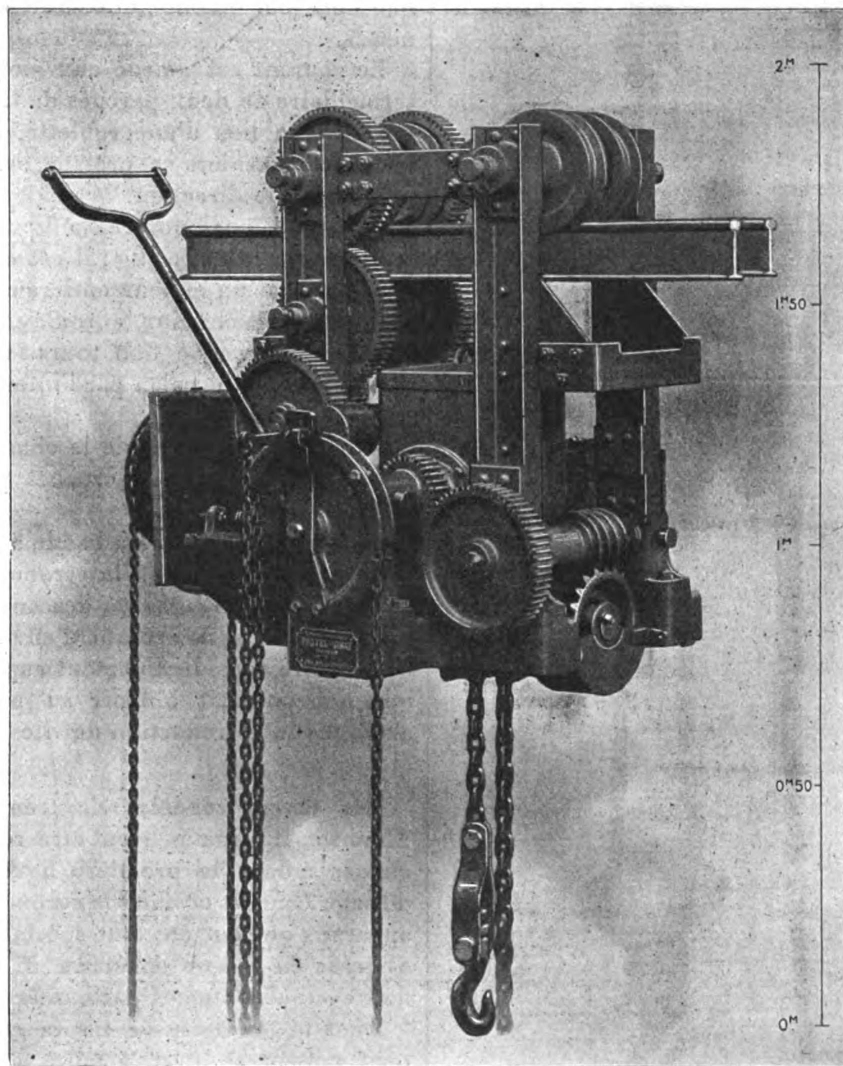


Fig. 6. — Palan transbordeur de 1 000 kilogs.

présenter des courbes et des sinuosités plus ou moins accentuées sans nuire à une marche régulière, il est aisé de faire passer le palan d'une galerie à une autre, de desservir tous les points d'un atelier ou d'une usine et obtenir ainsi un service que donneraient difficilement plusieurs appareils reliés à un chemin de roulement invariablement rectiligne.

Le plan transbordeur représenté peut élever à la vitesse de 3 m par minute une charge utile de 1 000 kg et la transporter à une allure de 60 m par minute. On conçoit par ces données quels services il peut rendre dans les ateliers de grande longueur, prenant des pièces lourdes ou encombrantes ou même des marchandises, les enlevant et les transportant automatiquement en

un point quelconque où l'attend un ouvrier qui, pour toute manœuvre à la réception, n'a qu'à tirer la chaînette qui commande l'arrêt de la translation et la descente de la charge.

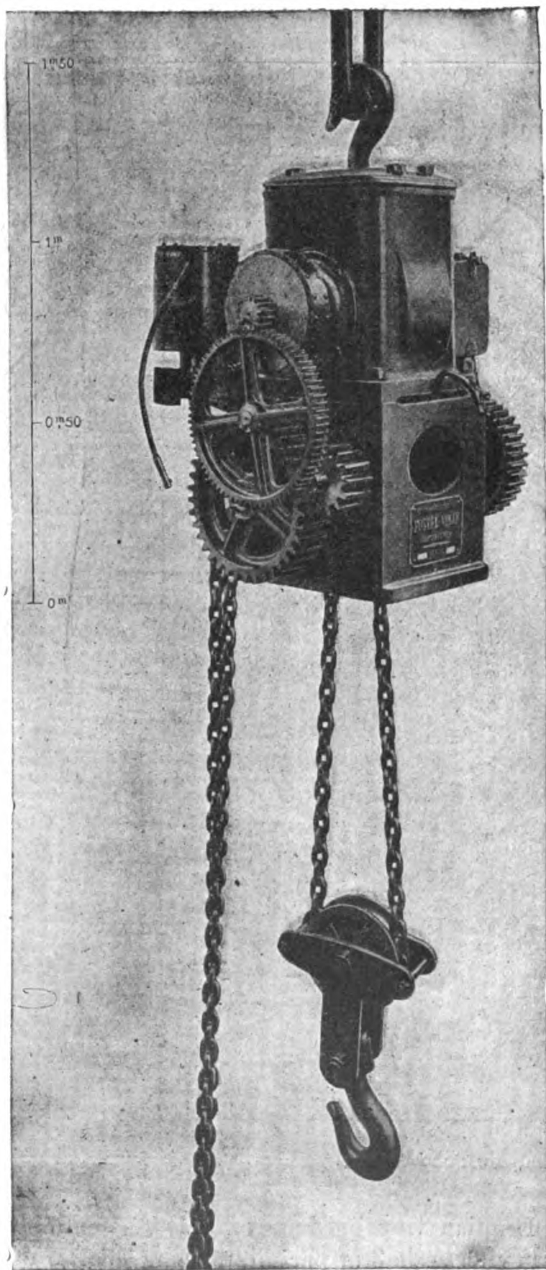


Fig. 7. — Palan électrique de 2 500 kilogs.

Un seul moteur enroulé en série, d'une puissance de deux chevaux suffit pour obtenir le mouvement de levage et de translation.

L'embrayage de l'un et de l'autre des mouvements s'effectue au moyen d'un pignon que l'on fait engrener soit avec la roue commandant les galets, soit avec celle qui commande la vis sans fin du mouvement de levage. Le pignon est mis au point au moyen d'un levier que l'on fait basculer à droite ou à gauche suivant le mouvement que l'on veut obtenir, et cela au moyen de chaînettes.

Le courant est amené aux moteurs par l'intermédiaire de deux perches de trôlet qui comportent, au lieu d'une roulette, de longs rouleaux, ces derniers se prêtant beaucoup mieux aux écarts de direction.

Le palan que montre la figure 7, est établi pour charges de 2 500 kg ; il est essentiellement constitué par un moteur entièrement clos d'une puissance de 2 chevaux, enroulé en série et tournant à la vitesse de 800 tours. Ce moteur actionne la noix du palan par l'intermédiaire d'engrenages droits.

La vitesse de levage de la charge est de 3 m par minute ; à vide le crochet peut atteindre 6 m.

Un frein magnétique à bande arrête la charge dès que le courant est interrompu et règle en même temps la vitesse de descente. Ce système a un rendement mécanique d'environ 75 p. 100, c'est-à-dire considérablement supérieur à celui que l'on pourrait obtenir au moyen de tout autre mode de réduction de vitesse.

Les divers modèles de treuils électriques Thomson-Houston peuvent être répartis en deux classes : dans la première figurent les types d'usage courant et dans la seconde ceux de ces appareils qui ont été tout spécialement étudiés et créés en vue de satisfaire à des conditions de travail absolument particulières.

Dans la première de ces deux catégories on peut classer le treuil à noix, de 1 000 kg que représente la figure 8.

Il est destiné à être appliqué à une paroi verticale et, pour cette raison, il est fréquemment dénommé « treuil mural ». Ses petites dimensions et son poids réduit en rendent l'utilisation très pratique dans un grand nombre de cas.

Le moteur qui l'accompagne peut être alimenté par un circuit d'éclairage à 110 volts ; à 550 tours, il donne la puissance d'un cheval et permet d'élever une charge de 1 000 kg à la vitesse de 3 m par minute.

Il est muni d'un frein électro-magnétique à lame. Cet appareil consiste en un solénoïde vertical, monté en série sur le circuit du moteur, et actionnant par son noyau un levier à contrepoids attelé à l'une des extrémités de la bande de frein dont l'autre est attachée rigidement au bâti.

Pendant le levage de la charge l'attraction du

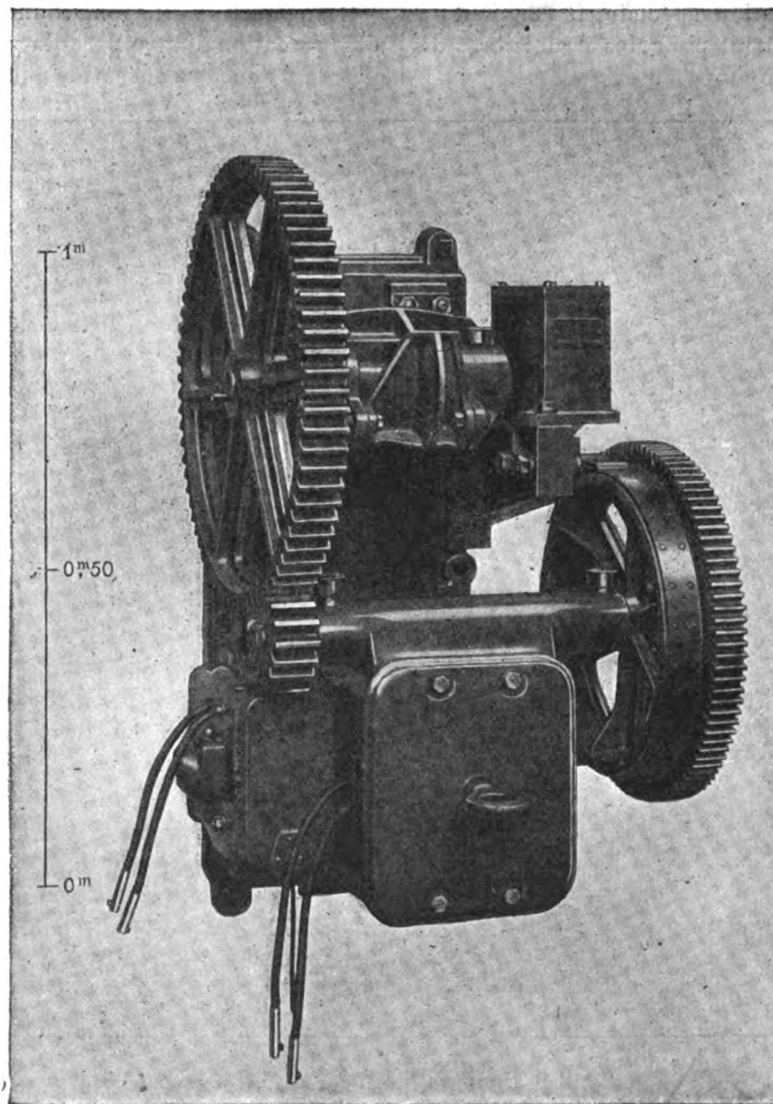


Fig. 8. — Treuil à noix de 1 000 kilogs.

solénoïde maintient le noyau dans sa position haute et la bande de frein reste ouverte ; aucune résistance n'est produite.

Par contre, si au moyen du commutateur inverseur à rhéostat, annexé au treuil, on coupe le courant, immédiatement le noyau du solénoïde tombe et, sous l'action de son contrepoids, le levier serre la bande qui bloque le frein.

Quant à la descente de la charge, elle s'effectue à une vitesse constante, par la simple manœuvre de la manette du commutateur. A tout instant, le courant inversé admis dans le moteur en série est tel que la dérivation du solénoïde produise une résistance de freinage plus ou moins grande, mais capable d'éviter toute accélération dans la descente. Ce frein obéit d'ail-

leurs avec une instantanéité et une docilité remarquables à toutes les fluctuations du courant.

Parmi les appareils de seconde catégorie, c'est-à-dire de création spéciale, il convient de citer le treuil construit pour les Ardoisières de la Renaissance à Angers

Il est destiné à arracher, sur une paroi verticale, des blocs d'ardoises du poids de 3 tonnes et de retenir ces blocs, tombant d'une hauteur d'un mètre, sans qu'il en résulte, sur la chaîne, un effort supérieur à 10 000 kg.

Ces conditions de fonctionnement ont nécessité la création d'un appareillage absolument spécial, tant dans son ensemble que dans ses détails.

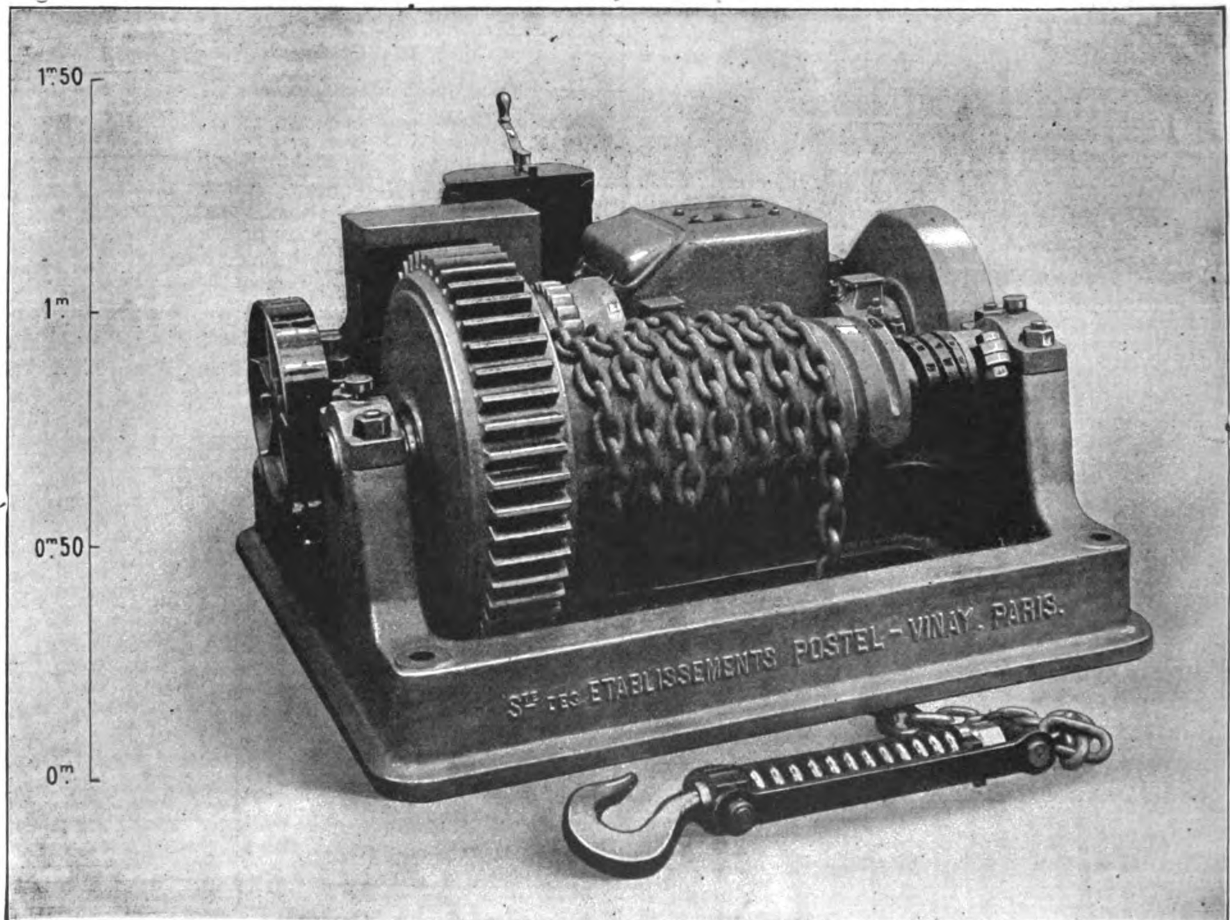


Fig. 9. — Treuil de 3000 kilogs pouvant résister à un effort de 10000 kilogs sur la chaine.

En premier lieu, afin d'amortir les chocs dus à la chute d'un bloc de ce poids sans qu'il en résulte un effort supérieur à celui de 10 000 kg que comporte la résistance de la chaîne, on a pourvu le crochet de levage d'un ressort à boubin visible à la figure 9 qui montre l'ensemble du treuil. Ce dernier comporte un limiteur de force réglé de façon telle que lorsqu'un effort supérieur à 10 000 kg est demandé sur la chaîne, le train d'engrenages se trouve automatiquement bloqué par le mécanisme de freins. Le tambour du treuil effectue alors un mouvement vide, c'est-à-dire n'exerce pas sur la chaîne une traction supérieure à celle prévue.

L'équipement électrique du treuil comprend un moteur de 25 chevaux tournant à 300 tours ; il permet de lever la charge utile de 3 000 kg à une hauteur de 10 m, avec une vitesse de 15 m par minute, tandis que l'allure du dévirage peut varier de 25 à 30 m.

Pour obtenir une réversibilité et une modération à volonté, le moteur est commandé par un contrôleur rhéostatique. Ce dernier, ainsi que les résistances, sont disposés sur le bâti même du treuil où ils forment une masse homogène. Par ce dispositif la manœuvre est extrêmement facile ; il en est de même de la visite et de l'entretien des divers organes mécaniques et électriques.

ÉLECTROCHIMIE

Sur la préparation électrolytique des persulfates, par **M. G. Levi.** *Zeitschrift für Elektrochemie* t. IX, p. 427, 2 mai 1903. *Gazetta Chimica Italiana*, 1903.

Müller et Friedberger ont réussi, il y a quelques années, à préparer les persulfates de potassium et d'ammonium, avec un bon rendement et sans employer de diaphragme. Ils ont indiqué la nécessité de maintenir une température basse pour avoir un bon rendement. Mais la loi exacte de variation du rendement avec la température et que l'auteur a recherchée, n'avait pas encore été donnée, de même que l'on ne connaissait pas non plus l'influence de la nature des électrodes sur le rendement.

Pour déterminer ces différents points, l'auteur a expérimenté sur le sulfate d'ammoniaque. Les conditions des essais étaient celles indiquées dans le travail de Müller et Friedberger (essai 10). Les anodes utilisées étaient en platine poli ; les cathodes étaient pour les différentes recherches, en platine, nickel, plomb ou charbon. Un élément était monté à l'aide d'une anode à égale distance de deux cathodes. Avant chaque essai, les électrodes étaient purifiées, celles de platine étaient recuites. Pendant l'électrolyse, les solutions étaient maintenues faiblement alcalines par l'addition d'acide sulfurique. Le rendement était déterminé à l'aide de solutions de sulfate ferreux ammoniacal et de permanganate de potassium, d'après la méthode de Le Blanc et Eckardt. Les résultats des premières séries de recherches sont donnés dans le tableau suivant :

Numéro de l'essai.	Température en °C.	Densité en amp.: cm².	Tension en volts.	Rendement en quantité.
1	10	0,25	5,3	0,630
2	20	0,24	5,0	0,651
3	30	0,25	4,95	0,608
4	40	0,25	4,7	0,537
5	50	0,24	4,3	0,400

Les électrodes étaient ici toutes en platine, et l'électrolyse durait trois heures.

On voit que jusqu'à 30° C., le rendement est peu variable avec la température. C'est à partir de 40° qu'il commence à diminuer.

D'ailleurs, les solutions à 10 p. 100 de persulfate d'ammonium, en présence d'ammoniaque et de sulfate d'ammoniaque (les électrodes de platine étant retirées) commencent à se décomposer à 40° C..

Pour rechercher l'influence de la nature des électrodes, l'auteur a employé dans les mêmes conditions que précédemment, des anodes en platine avec des cathodes en platine, nickel, plomb et charbon. Tous ces éléments ne différant que par la nature des cathodes étaient disposés en tension et électrolysés pendant trois heures à la température ambiante.

Une première série d'essais donnait :

Première série.

Nature des cathodes	Densité de courant, en amp. par cm².		Tension en volts.	Rendement en quantité.
	anodique.	cathodique.		
Platine..	0,25	0,16	4,7 à 5,0 volts	0,593
Nickel ..	0,25	0,15	»	0,593
Plomb...	0,27	0,15	»	0,526
Charbon.	0,27	0,14	»	0,619

La température montait lentement de 18 à 39° C.

Dans une deuxième série d'essais on obtenait :

Deuxième série.

Nature des cathodes.	Densité de courant, en amp. par cm².		Tension en volts.	Rendement en quantité.
	anodique.	cathodique.		
Platine..	0,25	0,16	environ 5	0,640
Nickel ..	0,25	0,16	»	0,630
Plomb...	0,27	0,15	»	0,544
Charbon.	0,27	0,14	»	0,659

La température, montait lentement de 16 à 35° C.

Les deux séries d'essais qui sont concordantes montrent que le plomb donne le plus mauvais rendement, et le charbon, le meilleur.

Par hasard, il se trouvait que dans l'élément à cathodes de plomb, l'anode de platine était vieille et présentait une surface rabotteuse.

Cette vieille anode fut alors portée dans un vase et placée entre des cathodes de platine, pendant que l'anode de platine neuve était mise

entre deux cathodes de plomb. On obtint alors les résultats suivants :

	Densité anodique en amp. : cm².	Rendement en quantité	
		Essai n° 1.	Essai n° 2.
Cathodes de platine avec vieille anode.	0,25	0,523	0,508
Cathodes de plomb avec nouvelle anode. . . .	0,27	0,570	0,552

On voit que les cathodes de plomb donnent un bien meilleur rendement avec anode neuve en platine, de sorte que leur influence est presque insignifiante.

C'est seulement la nature physique de l'anode qui exerce une grande influence et l'auteur explique ainsi qu'il n'ait obtenu qu'un rendement voisin de 0,60 tandis que Müller et Friedberger ont atteint 0,80.

Lorsque les différences dans les valeurs des densités anodiques ne sont pas très considérables, elles n'exercent aucune influence sur le rendement, ansi qu'il résulte des essais dont les résultats sont exprimés dans le tableau suivant :

Cathodes en platine.		Cathodes en charbon.	
Densité anodique en amp. : cm².	Rendement en quantité.	Densité anodique en amp. : cm².	Rendement en quantité.
0,25	0,605	0,27	0,612
0,30	0,610	0,33	0,630
0,48	0,613	0,52	0,620
0,055	—	0,06	0,615

Les essais étaient effectués à 20° C. ; l'un des éléments avait ses cathodes en platine et l'autre des cathodes en charbon. Avec ces deux mêmes éléments, l'auteur a encore vérifié l'influence de la température et celle de la nature des cathodes. Il a obtenu les résultats ci-dessous.

Numéro de l'essai.	Température en degrés C.	Densité anodique en amp. : cm².	Rendement en quantité	
			Cathodes en platine.	Cathodes en charbon.
1	10	environ 0,25		0,621
2	20	»	0,605	0,612
3	30	»	0,612	0,635
4	40	»	0,500	0,544

Ces résultats s'accordent bien avec les précédents quant à l'influence de la température ; ils indiquent que le rendement est un peu supérieur lorsqu'on emploie des cathodes en charbon.

La conclusion de ces essais est que la préparation des persulfates par électrolyse sans diaphragme et avec addition de chromate peut être réalisée sans difficultés jusqu'à 30° C. et que la nature des cathodes n'exerce alors qu'une très faible influence snr le rendement, le charbon paraissant donner les meilleurs résultats. Par contre l'état physique des anodes de platine exerce sur le rendement une influence très sensible.

L. Jumau.

DIVERS

Décharge dans les gaz au voisinage des corps incandescents électrolytiques, par **E. Rasch**. *Drude's Annalen*, t. XI, p. 202-207, mai 1903.

Les phénomènes de décharge à la surface des conducteurs de deuxième classe (conducteurs par incandescence) ne sont pas des phénomènes secondaires et ne sont pas liés au degré du vide, au sens du courant ou à la fréquence, comme l'admet Bose (1). Les conducteurs de seconde classe sont plus aptes que les conducteurs de première classe à entretenir les décharges dans les gaz et les arcs électriques. Ces décharges peuvent être stables à la pression ordinaire sous une force électromotrice de 40 volts environ.

La seule condition c'est que la conductibilité soit suffisante pour le débit nécessaire : on peut obtenir cette conductibilité en chauffant les électrodes. On peut ainsi entretenir entre des électrodes incandescentes d'oxyde de thorium, de magnésie, de zircone, d'yttria, même à la pression ordinaire, des arcs électriques d'un très grand rendement lumineux. De même entre des électrodes formées par des électrolytes liquides. Suivant la force électromotrice, l'intensité du courant et la pression du gaz, ces décharges affectent la forme de flammes intenses ou celle des décharges dans les gaz raréfiés.

L'expérience suivante montre que la conductibilité des corps incandescents peut devenir très grande : Le primaire d'un transformateur dont le rapport de transformation est 1 : 2, est relié à une source donnant 80 volts : un interrupteur de Wehnelt et un rhéostat de réglage sont intercalés dans le circuit. Sur le circuit secondaire est inséré entre deux pinces de métal un conducteur électrolytique de forte section. Si on échauffe quelque peu ce dernier, il se

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXIV, p. 203, fév. 1903, p. CXXXIII, mars 1903.

produit entre les pinces de fortes étincelles, qui portent l'électrolyte à son maximum de conductibilité. Si la résistance du circuit primaire a une valeur convenable, il se produit un phénomène remarquable (étudié par Kaufmann [1]). Le conducteur paraît s'éteindre, puis soudain éclatent le long de sa surface des étincelles très vives ; le conducteur devient très brillant, quand les étincelles ont disparu, s'éteint de nouveau et ainsi de suite.

Cette production d'étincelles sous une différence de potentiel aussi faible prouve que le conducteur incandescent exerce une action ionisante très énergique. Cette circonstance a suggéré à MM. Blau et Rasch l'idée d'employer des fours électriques munies d'électrodes de cette nature pour produire des réactions gazeuses par voie ignée.

M. L.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

SOCIÉTÉ INTERNATIONALE DES ÉLECTRICIENS

Séance du mercredi 6 mai [2].

Cette séance, dont nous n'avons pu donner le compte rendu sommaire en temps opportun, débute par une

Discussion sur le frein électromagnétique Westinghouse, par MM. **Guénée, Delas, Vuilleumier**.

Suivant M. Guénée, tout appareil de freinage qui est fondé sur le collage magnétique entre deux pièces est mauvais, si ce collage peut arrêter la rotation du moteur.

Pour qu'un frein soit pratique, il faut qu'en cas de surprise le wattman puisse porter son levier à fin de course sans craindre de faire patiner ; il ne faut pas que cet homme ait à réfléchir au moment du danger. Or, si un courant trop fort peut produire le collage magnétique et le bloquage du moteur, il y a patinage des roues jusqu'au désamorçage du frein, qui se produit seulement lorsque, la vitesse étant descendue au-dessous de 6 km à l'heure, le moteur ne s'amorce plus comme générateur. Il est impossible de régler une résistance fixe empêchant cela, car, si elle est bonne pour une vitesse, elle est forcément mauvaise pour une vitesse sensiblement différente.

En second lieu, à cause de la flexion des ressorts, les sabots ou patins qui freinent sur les rails doivent être maintenus à plusieurs centimètres de ceux-ci. Lorsque l'on fait passer un courant suffisant pour vaincre la résistance des ressorts qui soulèvent ces sabots, soit 50 kg, la pression sur le rail atteint plusieurs centaines de kilogrammes. Il s'ensuit que le frein n'est pas modérable, à proprement parler, puisqu'il commencera toujours par un freinage énergique que l'on pourra diminuer après coup, mais qui n'en aura pas moins existé, puisque c'est la secousse seule qui préviendra le wattman que les patins sont en contact.

D'autre part, le frein Westinghouse possède, d'après M. Guénée, un défaut commun à beaucoup de freins, qui est de bloquer les essieux et d'empêcher le déplacement des boîtes à graisse, nécessaire dans les passages en courbes à petits rayons. Cet inconvénient, qui a peu d'importance pour les freins à main qui ne bloquent pas réellement, devient très sensible quand le frein est puissant, et entraîne des déraillements.

Le freinage avec collage magnétique n'est d'ailleurs pas nécessaire, car M. Guénée construit des appareils montés sur des voitures qui descendent des pentes de 10 p. 100, et le freinage est très bon ; ceci est démontré pratiquement de façon continue.

M. Delas qui, dans la précédente séance présentait le frein Westinghouse, répond comme il suit : « La majeure partie des observations de M. Guénée reposent sur la possibilité du calage des roues sous l'action des freins.

» Or, j'ai montré, dans ma dernière communication, que le calage des roues était impossible, et cela pour différentes raisons :

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 379, déc. 1901.

(2) D'après le *Bulletin de la Société*, 2e série, t. III, p. 261 à 286.

» 1° Parce qu'il est facile, avec le frein électromagnétique Westinghouse, de déterminer une règle absolue, qui réalise toujours, indépendamment de l'état des rails, la condition essentielle d'un freinage méthodique :

$$Q(f_2 - \varepsilon) = Pf_1.$$

» Cette règle peut s'énoncer ainsi pour un freinage d'urgence :

» *Amener la manette du contrôleur sur la touche de freinage et la laisser dans cette position jusqu'au moment où la voiture va s'arrêter. A ce moment, amener directement la manette du contrôleur sur la dernière touche.*

» 2° Parce que le collage magnétique ne peut jamais se produire avec le frein électromagnétique Westinghouse; comme je l'ai indiqué dans ma dernière communication, si le calage des roues venait, par impossible, à se produire, le plus léger choc sur les patins par une aspérité ou par un joint du rail suffirait à vaincre l'adhérence magnétique due à la rémanence et les patins seraient rappelés sous l'action des ressorts qui les supportent.

» En ce qui concerne la critique faite par notre collègue M. Guénée, relative au freinage énergique au moment de l'application du frein, nous ne la comprenons pas. Le simple examen de la variation du coefficient de frottement en fonction de la vitesse montre bien que c'est lorsqu'on applique le frein, que la pression Q doit être maximum et qu'elle doit décroître ensuite en suivant une loi inverse de celle qui suit le coefficient de frottement. C'est la condition nécessaire pour tirer d'un frein le maximum d'effet utile.

» Le calcul démontre et l'expérience prouve que, dans le frein Westinghouse, on obtient, jusqu'au moment où la voiture va s'arrêter, la condition :

$$Q(f_2 - \varepsilon) = Pf_1,$$

ε étant une fraction très petite de l'unité, en suivant la règle très simple que nous avons énoncée plus haut.

» Quelle que soit l'instantanéité de l'application de la pression Q, les roues ne seront pas calées si la condition ci-dessus est remplie.

» Naturellement, l'effort retardateur dû au frottement du patin sur le rail ne contribue en rien au calage des roues : il peut être assimilé à une augmentation d'adhérence au moment du freinage.

» Cela constitue, sans nul doute, un autre avantage très important du frein électromagnétique Westinghouse.

» Quant aux déraillements que tendraient à produire, dans les courbes de petit rayon, les freins agissant sur les bandages des roues, je ne crois pas que cela soit à retenir. Il ne faut pas oublier, en effet, que, dans les courbes à petit rayon, la vitesse se trouve excessivement réduite avant l'entrée des courbes et que, par conséquent, l'action du frein est elle-même très réduite.

» D'ailleurs, dans le cas particulier du frein magnétique Westinghouse, l'adhérence magnétique entre les patins et le rail tendrait à diminuer notablement l'inconvénient que M. Guénée dit être commun à tous les freins agissant sur les bandages des roues ».

M. Vuilleumier estime que l'emploi de l'adhérence magnétique, non seulement permet la suppression du sable pour les démarrages, même sur rails glissants, mais s'impose pour le franchissement de fortes rampes dans les villes où l'adhérence peut descendre à 0,55.

Pour obtenir l'arrêt sur une pente i sur l mètres, il faut réaliser la condition

$$pf_1 l - \frac{pv^2}{2g} pli - 0;$$

p et f_1 étant donnés, on ne peut agir que sur la vitesse v au détriment de la vitesse commerciale.

En utilisant l'adhérence magnétique p' la formule devient

$$(p + p') f_1 l - \frac{pv^2}{2g} - pli = 0;$$

permettant de maintenir une vitesse supérieure.

M. Vuilleumier rappelle qu'il a préconisé et expérimenté, en 1898, un dispositif d'adhérence magnétique faisant passer le champ par les sabots, les roues et le rail. Ce dispositif augmente la sécurité dans les fortes pentes, cale les sabots au montage et élimine les patinages.

La communication sur

Les circuits téléphoniques combinés, par M. **Devaux-Charbonnel**.

qui fait suite à la discussion, est reproduite ci-après intégralement :

« Dès les débuts de la téléphonie, on a cherché à augmenter le rendement des lignes en employant des dispositifs qui permissent de faire entrer un même fil dans la constitution de plusieurs communications.

« On songea, tout d'abord, à imiter les installations connues en télégraphie sous le nom de *duplex*.

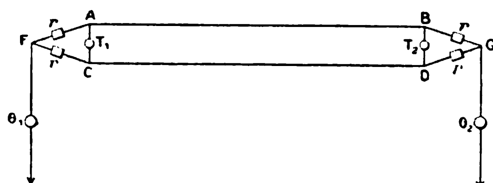


Fig. 1.

» Prenant, par exemple, une ligne à deux fils égaux reliant deux téléphones T_1 et T_2, en branchant quatre résistances égales r, comme le montre la figure 1, on peut installer deux autres téléphones Θ_1 et Θ_2 sur des fils qui relieront les points F et G à la terre. On a, en effet, réalisé ainsi un dispositif jouissant des propriétés essentielles du pont de Wheatstone; la force électromotrice de Θ_1 développe des potentiels égaux en A et C, et aucun courant ne passe en T_1; il en est de même aux points B et D, de sorte que le courant issu de Θ_1 n'actionne ni T_1 ni T_2. D'autre part, une force électromotrice issue de T_1 produit des potentiels égaux en F et G et est sans influence sur les appareils Θ_1 et Θ_2.

» On peut donc, au moyen de deux fils, installer deux communications téléphoniques distinctes. Hâtons-nous d'ajouter que la communication entre les appareils Θ_1 et Θ_2 sera, en général mauvaise, à cause de la présence, dans le circuit, de prises de terre qui y introduiront des courants étrangers fort gênants pour les conversations; ces courants pourront même affecter les appareils T_1 et T_2, si l'isolement des fils AB et CD n'est pas parfait. Aussi, le dispositif indiqué par la figure 1 n'a jamais été usité en service courant; il a été quelquefois employé pour superposer une communication télégraphique sur une ligne téléphonique. C'est ainsi qu'en 1884, M. Ducousso avait installé un appareil Morse entre le bureau des Gobelins et la rue Caumartin, sur une ligne souterraine à double fil de 10 km environ de longueur.

» Mais, si l'on supprime la connexion des appareils Θ_1 et Θ_2 avec la terre, et qu'on complète leur circuit métalliquement, par exemple par une installation identique à la première, on peut obtenir d'excellentes communications télé-

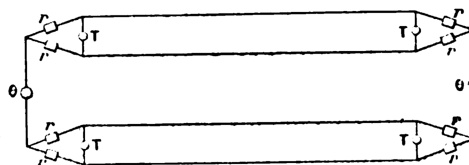


Fig. 2.

phoniques. La figure 2 fait voir le schéma d'une installation qui permet de réaliser trois communications distinctes avec quatre fils.

» C'est à des installations de ce genre qu'on a donné le nom de *circuits combinés*.

» On peut, d'ailleurs, faire une application plus large de ce principe; avec huit fils on peut réaliser sept communications comprenant quatre circuits ordinaires, deux combinés du premier ordre et un du troisième.

» Si l'on se place au seul point de vue théorique, il est possible d'étendre le développement de ce système et de former $4n - 1$ circuits avec $2n$ circuits primitifs ordinaires.

» Le dispositif représenté à la figure 3 a été

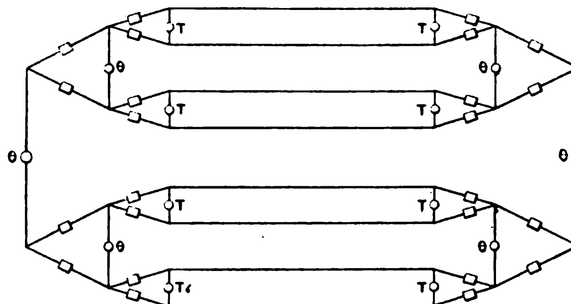


Fig. 3.

breveté en 1883 et installé en 1884, par M. Ducousso, entre les bureaux de l'avenue de l'Opéra et du boulevard Saint-Germain. Il a fonctionné d'une manière satisfaisante, les conversations et les appels propres à un circuit n'étant pas perçus sur l'un quelconque des autres.

» Ce système fort ingénieux, et qu'on peut appeler *système des résistances*, présenterait cependant des inconvénients graves si l'on voulait l'appliquer à des lignes un peu longues. En

effet, les résistances *r* doivent avoir une valeur assez élevée, un millier d'ohms au moins, pour éviter que les courants émis par un appareil tel que T_1 en soient trop affaiblis par le shunt A.F.C. Alors les courants issus de Θ ayant à traverser les résistances *r* sont notablement affaiblis. Aussi ce dispositif, qui a été essayé en Allemagne à peu près à la même époque qu'en France, a été de bonne heure abandonné, parce qu'il fonctionnait d'une manière imparfaite dans les cas où il aurait été précieux de l'employer, dans son application aux lignes interurbaines de grande longueur, pour lesquelles on doit soigneusement éviter tous les dispositifs qui ont pour effet de diminuer l'intensité du courant.

» Pour remédier à cet inconvénient, on eut recours à un système assez différent comme principe et qu'on peut désigner sous le nom de *système des transformateurs*. Le circuit primitif n'est pas relié directement au téléphone, mais à un transformateur dont le deuxième circuit comprend les appareils T.

» Le milieu du premier enroulement est réuni à l'appareil Θ du courant combiné. Le courant issu de Θ se partage au point A (fig. 4) en deux parties égales qui suivent chaque fil de ligne et sont sans action sur l'appareil T, car les courants induits du transformateur sont égaux et de signe contraire. Les appareils T et Θ sont ainsi indépendants l'un de l'autre et les courants

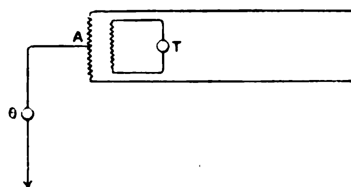


Fig. 4.

issus de Θ n'ont à franchir que la résistance de l'enroulement primaire qui peut être assez faible pour ne pas les réduire sensiblement. Ce dispositif peut donc être avantageux à condition que la construction du transformateur soit étudiée d'une manière rationnelle.

» Dans le dispositif imaginé en Allemagne par M. Elsasser (1885), on fait usage d'un électroaimant à deux branches, sur lequel on place un fil enroulé en double (fig. 5). Les branches étant de polarités différentes, la self-induction opposée au courant de Θ est assez faible; elle n'est cependant pas nulle et le courant s'en trouve affaibli. Les courants induits dans le circuit de T sont de signes contraires, mais ne sont pas rigoureusement égaux, de sorte

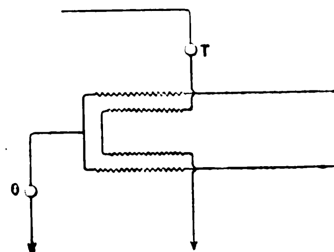


Fig. 5.

qu'il y a induction d'un circuit sur l'autre. Cet inconvénient est encore aggravé par le fait que le système devait, dans la pensée de son auteur, être appliqué à des lignes à simple fil, et qu'alors la capacité de la partie du circuit de T réunie au sol est beaucoup plus grande que celle reliée à l'appareil. Mais, même en limitant son emploi aux lignes entièrement métalliques, il n'est pas possible d'éviter l'induction mutuelle des deux enroulements.

» On peut évidemment améliorer beaucoup ce système en n'employant qu'un seul noyau de fer doux, et en disposant convenablement les enroulements des fils inducteurs et induits.

» Dès l'année 1881, M. Maiche, avait présenté à l'exposition d'électricité un appareil de ce genre, qui permit en l'année 1886 d'installer entre Paris et Beauvais, sur une ligne souterraine, simultanément une communication téléphonique et une communication télégraphique. Plus tard, M. Picard, inspecteur des télégraphes, proposa pour le même objet une bobine construite dans le même ordre d'idées. Cette bobine fonctionna d'une façon très satisfaisante, mais, comme tous les appareils du même genre, elle ne fut employée en France que pour résoudre le problème de la téléphonie et de la télégraphie simultanées; elle n'a pas été appliquée jusqu'ici à la téléphonie seule et nous ignorons comment elle se comporterait. Les dispositifs de même nature qui ont été mis en service à l'étranger ne paraissent pas à l'abri de toute critique.

» En Angleterre, on a fait usage d'une bobine dont les deux fils sont enroulés en double. Il en résulte entre les enroulements une capacité

notable qui forme shunt pour l'appareil T et qui réduit considérablement la portée du système. La distance de 80 km n'a guère été dépassée.

» En Suède, l'enroulement est fait par couches alternatives, les couches paires forment le premier enroulement et les couches impaires le deuxième. Cette disposition, qui éloigne davantage les deux fils, est meilleure que le dispositif anglais; elle présente neanmoins, quoique à un degré moindre, le même défaut.

» Avec le système dont il me reste à parler, celui des *bobines de self-induction*, nous allons aborder l'étude d'un procédé qui a été reconnu plus satisfaisant et qui semble devoir être adopté définitivement en France.

» En 1890, M. Cailho, ingénieur des Télégraphes, reprit l'idée de relier directement les appareils aux fils de ligne, comme l'avait fait auparavant M. Ducousso, mais en remplaçant les résistances précédemment employées, par des bobines à très forte self-induction et à faible résistance.

» La bobine imaginée par M. Cailho est

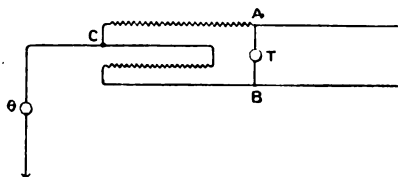


Fig. 6.

représentée schématiquement sur la figure 6. Elle comprend deux enroulements ayant chacun 150 ohms environ et 5 henrys.

» Les deux fils de la ligne principale aboutissant aux bornes A et B qui sont également reliées au poste ordinaire T, la bobine introduit sur ce poste une dérivation A. C. B. dont la résistance est de 300 ohms et la self-induction de 20 henrys, ce qui représente, pour les courants téléphoniques de 500 périodes à la seconde, une impédance équivalente à environ 60 000 ohms. Cette dérivation n'a donc aucun effet nuisible sur l'intensité du courant destiné au poste ordinaire.

» L'appareil Θ du circuit combiné est relié au point C. Le courant se divise en deux parties égales qui parcourent chacun des enroulements en sens contraire, de sorte que la self-induction opposée à ce courant est rigoureusement nulle, et la résistance n'est que de 75 ohms. Pour les raisons que nous avons données à propos du *système des résistances*, les appareils Θ et T sont indépendants l'un et l'autre. L'installation est complétée par un dispositif identique placé sur le deuxième circuit à combiner.

» Le bon fonctionnement de la bobine Cailho est dû aux précautions spéciales qui ont été prises pour l'enroulement.

» En donnant quelques indications sur les transformateurs employés à l'étranger, nous avons eu occasion d'exposer les difficultés que présente la construction d'une bonne bobine.

» Avec la bobine allemande de M. Schwensky, nous allons décrire un type qui a été étudié avec beaucoup de soin et qui est fort bien compris. Elle se compose d'un noyau unique de fils de fer sur lequel sont disposés quatre enroulements distincts et égaux deux à deux (fig. 7). Deux

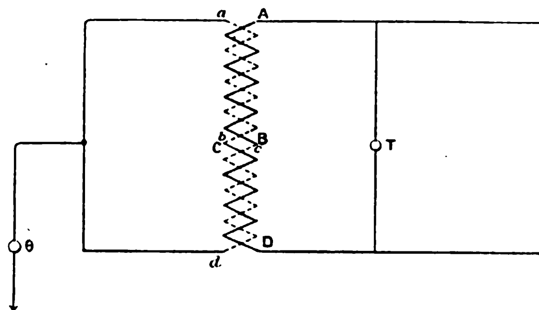


Fig. 7.

enroulements intérieurs *ab* et *cd* occupent chacun exactement la moitié du noyau et par-dessus sont placés les deux enroulements extérieurs AB et CD. Les liaisons sont établies comme l'indique la figure, un enroulement intérieur étant réuni à un extérieur au centre de la bobine. La capacité mutuelle des deux enroulements devient dans ces conditions à peu près négligeable et la self-induction de chacun d'eux est très sensiblement la même.

» Cette bobine, en service en Allemagne et en Hongrie, a donné de très bons résultats et a permis de combiner des circuits ayant jusqu'à 600 km de longueur.

» Nous espérons en France obtenir des résultats au moins aussi bons avec la bobine Cailho, à laquelle l'expérience nous a amenés à reconnaître la qualité essentielle de séparer d'une

manière absolue les conversations, sans diminuer en rien leur intensité.

» Les premiers essais de cette bobine ont été effectués par M. Cailho lui-même entre Cette et Montpellier. Cet ingénieur obtint, en 1892, une communication entre ces deux villes fonctionnant d'une manière fort satisfaisante en combinant un circuit reliant Cette à Montpellier, avec un autre réunissant Cette à Nîmes. En employant les mêmes procédés, nous avons constitué sans difficulté un circuit combiné entre Paris et Rouen (distance 140 km). Depuis plus de six mois ce circuit est en service et donne toute satisfaction, car il est mis à la disposition du public dans les mêmes conditions que les circuits ordinaires.

» On voit, en résumé, que la formation de circuits combinés semble depuis déjà assez longtemps être devenue chose très aisée.

» La troisième communication se superpose aux deux communications primitives en utilisant comme conducteurs les deux fils de chacune d'elles disposés en parallèle. La réunion en parallèle a été tentée de différentes façons au moyen de résistances, de transformateurs et de bobines de self-induction. Nous venons d'expliquer que le dernier système est certainement le meilleur et qu'il a donné en pratique de très bons résultats.

» La combinaison des circuits, en établissant une communication supplémentaire sans exiger la pose de nouveaux fils, offre d'autre part des avantages économiques dont on appréciera sans peine la valeur quand on saura qu'un circuit de 500 km de longueur coûte près de 400 000 fr. Cependant, jusqu'ici, ce procédé s'est peu répandu en France. A l'heure actuelle l'Administration française n'a en service régulier, à part la communication de Paris à Rouen, que quelques petits circuits réunissant Paris à Versailles, à Saint-Germain et à diverses localités de la banlieue. Il n'est pas sans intérêt de rechercher les raisons de cet état de choses, et cette étude va nous conduire à exposer les conditions qui doivent être réalisées en dehors des postes, dans l'aménagement même des lignes aériennes, pour obtenir de bons résultats.

» Ce serait une grave erreur que de croire que les lignes téléphoniques sont uniquement parcourues par les courants qui servent à transmettre la parole. Si d'autres installations télégraphiques ou industrielles existent dans leur voisinage, des courants parasites sont produits par induction. Cet inconvénient n'a pu être évité en France où, par des raisons d'économie et de sécurité, les communications téléphoniques ont été placées sur les lignes qui supportaient déjà les fils télégraphiques. Aucun dispositif n'a encore été trouvé jusqu'à ce jour, soit pour empêcher la production des courants d'induction, soit pour les détruire. On s'est simplement appliqué à les rendre égaux sur chacun des fils d'un circuit, en faisant occuper aux conducteurs, au moyen d'interversions régulières, des positions symétriques par rapport aux fils inducteurs sur tout le parcours commun. On arrive de cette façon à obtenir que les voltages des courants induits soient égaux sur chaque conducteur pour deux points situés en regard de l'autre. Aucun courant ne peut donc circuler à travers un appareil installé en dérivation sur la ligne entre ces deux points. Cette propriété subsiste aux extrémités et c'est pourquoi les courants induits qui parcourent les deux conducteurs d'une ligne téléphonique ne sont pas perçus dans les appareils de conversation.

» Ces courants étrangers sont d'ailleurs loin d'être négligeables. Une expérience très facile à réaliser suffit pour le constater. Si l'on intercale en série, sur chacun des fils, à une distance suffisante des extrémités, des récepteurs téléphoniques R_1 et R_2 aussi semblables que possible, on constate, au moyen d'un troisième récepteur R_3 en dérivation entre les points A et B (fig. 8),

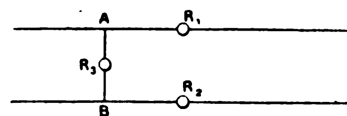


Fig. 8.

que l'équilibre n'est pas troublé et qu'aucun courant ne passe de A en B ; mais en écoutant dans les récepteurs R_1 et R_2 en série sur les fils, on est surpris du bruit parfois considérable qu'on y perçoit et qui empêche, sur les circuits les mieux établis, de saisir un seul mot des conversations échangées.

» J'ai pu constater de cette manière que les courants induits se propagent fort loin du point où ils ont pu prendre naissance. Il peut même arriver qu'ils engendrent alors sur d'autres fils par une nouvelle induction des courants qu'on

est fort étonné d'y rencontrer. C'est ainsi que par des inductions de troisième et même de quatrième ordre j'ai constaté sur certains circuits qui n'avaient aucun parcours commun ni avec des tramways électriques, ni avec un circuit suivant ces tramways sur une longueur quelconque, le bruit caractéristique causé par les variations du courant de travail, ce fait se produisant quand un troisième circuit, directement influencé, venait, en dehors de la zone d'influence, à être parallèle avec le second.

» La présence de ces courants est d'ailleurs une gêne pour les circuits ordinaires, et elle se manifeste dès que les deux fils ne se trouvent pas exactement dans les mêmes conditions électriques, par exemple, quand l'un deux est affecté d'un défaut d'isolement. Elle donne naissance, dans ce cas, au bruit caractéristique bien connu qu'on a pittoresquement désigné sous le nom de *friture*. Mais alors que, pour les circuits ordinaires, elle n'est gênante que dans des circonstances exceptionnelles, elle empêche d'une manière absolue la constitution de circuits combinés, car les deux courants qui suivent parallèlement les deux fils d'un même circuit sont concordants et ils passent tout entiers à travers les appareils du troisième circuit qu'ils rendent inexploitable. Si l'on veut que ce troisième circuit soit praticable, il faut réaliser sur la ligne aérienne, entre les circuits composant, des interversions analogues à celles qu'on emploie pour les conducteurs individuels d'une communication ordinaire. Il est bien évident que cette condition ne pourra jamais être remplie, si les deux circuits primitifs suivent des parcours différents. Et c'est justement le cas plus général en France, car, pour éviter que les divers circuits qui réunissent deux villes ne soient affectés par les mêmes causes de dérangement et ne risquent d'être interrompus à la fois, on a toujours eu soin de leur donner des parcours aussi différents que possible Voilà donc pourquoi la question des circuits combinés a rencontré chez nous des difficultés particulières d'application et, si nous avons pu former un circuit de longueur appréciable entre Paris et Rouen, c'est que le nombre des circuits qui relient ces deux villes avait obligé à en placer deux sur les mêmes appuis, cas unique jusqu'à ces derniers temps pour toute la France.

» A l'étranger, les mêmes difficultés ne se sont pas rencontrées, soit parce que souvent il existe des lignes entièrement téléphoniques qui n'étaient pas exposées à l'influence de fils télégraphiques, soit parce que le système d'anti-induction des circuits se fait fréquemment par un moyen différent du nôtre et qui se prête commodément à l'association des circuits. Au lieu de placer comme chez nous les deux fils d'un circuit sur un plan horizontal, on réunit deux circuits qui suivent le même parcours en plaçant les quatre fils aux sommets d'un losange (fig. 9).



Fig. 9

» Les circuits A_1A_2 et B_1B_2 ont un coefficient d'induction mutuelle nul. Pour éviter l'induction des fils voisins, on enroule les circuits en hélice (La figure 10 représente la disposition des fils sur cinq appuis consécutifs).

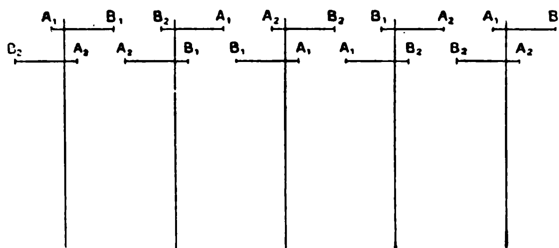


Fig. 10.

» De cette façon, les fils tournent constamment et reviennent, tous les cinq appuis, dans leur position primitive. Ce système a pour conséquence de rendre les voltages des courants induits égaux en deux points en regard de deux fils quelconques.

» Dans les deux cas, soit que les courants induits n'existent pas, soit qu'on ait rendu leurs voltages égaux sur chaque fil, la constitution des circuits combinés se fait sans qu'il soit nécessaire de prendre aucune disposition spéciale en ligne et aucun courant induit ne peut se dériver à travers les appareils. Le problème se trouve énormément simplifié et se réduit à un simple aménagement des postes.

» En présence des avantages que présentent les circuits combinés au point de vue écono-

mique et au point de vue du moindre encombrement des lignes, nous avons été conduits à renoncer au principe que nous nous étions imposé comme une règle absolue, à la séparation des circuits qui réunissent les mêmes localités, et voici comment nous nous proposons de disposer les deux circuits à combiner sur les lignes aériennes. Les circuits ordinaires A_1A_2 et B_1B_2 seront permutés à intervalles égaux, tous les 2 km environ par le dispositif représenté à la figure 11 (deux rotations de $\frac{1}{4}$ de tour) et qui se comprend sans autre explication.

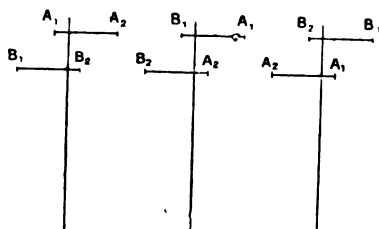


Fig 11.

» De cette manière, les courants d'induction qui circulent sur les quatre fils seront égaux et nous pouvons espérer que les trois circuits seront silencieux. Mais cette condition cesserait d'être remplie au moment où on relierait à l'un des circuits primitifs une ligne d'abonné et l'équilibre serait nécessairement détruit. On devra séparer métalliquement les circuits des lignes d'abonnés auxquelles ils seront reliés et, pour cela, on emploiera des transformateurs (fig. 12).

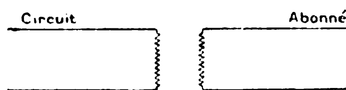


Fig. 12.

L'avantage du transformateur est considérable, même sur les circuits ordinaires, quand ces circuits sont parcourus par des courants induits. Il empêche ces courants induits de se répandre sur les lignes des abonnés, et comme il arrive parfois que ces lignes présentent des défauts d'isolement, son emploi évite la production de la friture. Le seul inconvénient qu'on lui reprochait autrefois était de rendre impossible l'appel direct par courant continu ; mais cet inconvénient a disparu depuis le jour où M. Bazille, ingénieur des télégraphes, est arrivé à faire fonctionner l'appel direct, malgré la présence du transformateur.

» Depuis plus de six mois que le circuit de Paris à Rouen a été mis, au moyen de ces procédés, en exploitation régulière, le service n'a donné lieu à aucune plainte du public.

» Ce succès nous laisse espérer la même réussite pour les circuits que nous construisons en ce moment pour relier Paris à Bordeaux et à Limoges et dont le premier aura plus de 600 km de longueur.

» D'ailleurs les combinaisons qu'on peut former par association de deux circuits sont assez variées. En voici quelques exemples qui permettront de se rendre compte des ressources que présente ce genre d'installations.

» Deux circuits, réunissant deux villes A et B, peuvent servir à prolonger jusqu'en A un circuit ordinaire allant de B en C (fig. 13).

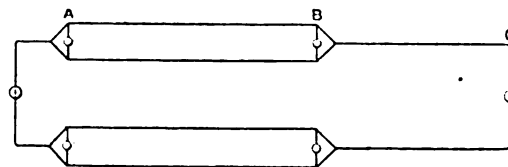


Fig. 13.

» Au contraire, deux circuits réunissant A et B peuvent constituer un circuit reliant A à un point intermédiaire C (fig. 14).

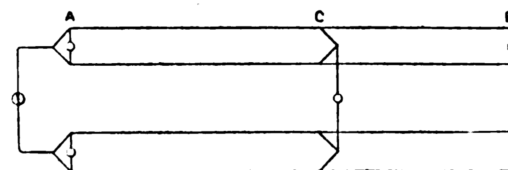


Fig. 14.

» Un circuit AB, suivant le même parcours qu'un circuit AC, plus long, peut servir à former un circuit supplémentaire entre A et B (fig. 15).

» Il nous reste à parler de quelques problèmes que soulève cette question des circuits combinés et que nous espérons pouvoir élucider prochainement à l'aide des résultats que nous apportera l'expérience.

» 1° Le diamètre du fil a-t-il une influence sur

l'intensité des courants d'induction ? et cette influence est-elle assez considérable pour empêcher la combinaison des circuits de diamètres différents ? La combinaison a été reconnue expérimentalement possible entre des circuits de

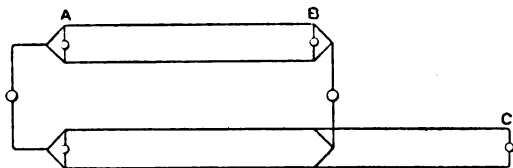


Fig. 15.

3 mm et 4 mm, de 3 mm et 5 mm, mais sur des longueurs ne dépassant pas 65 km. En sera-t-il de même sur des longueurs plus considérables ?

2° Le circuit formé par combinaison de deux autres est-il meilleur au point de vue de l'audition téléphonique que les circuits primitifs ?

» On sait que la voix éprouve, avec la distance parcourue l, un affaiblissement qui suit sensiblement une loi exponentielle, telle que

$$e^{-\beta l},$$

où β est un coefficient dépendant des résistances self-induction et capacité, par unité de longueur :

$$\beta = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}.$$

» Il semble que, pour le circuit combiné, R soit diminué de moitié, C doublé et que L conserve la même valeur. S'il en est ainsi, son coefficient β_1 serait lié à β par la relation.

$$\beta_1 = \beta\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,7\,\beta$$

» Les expériences faites jusqu'ici semblent prouver que l'audition n'est pas améliorée; il sera fort intéressant de discuter les résultats que donneront les circuits de grande longueur, résultats qui ne pourront manquer d'être concluants et qui jetteront sans doute un peu de lumière sur ces deux quantités assez mal connues, la capacité et la self-induction des circuits aériens.

» On voit par le court exposé que nous venons d'en faire, que la question des circuits combinés est liée à la solution de nombreux problèmes d'une haute portée scientifique et économique, et c'est pourquoi nous avons pensé, au moment où ce genre d'installation va se développer en France, qu'il ne serait pas sans intérêt pour les membres de la Société des Électriciens de connaître ce qui a été déjà fait et ce que nous allons tenter de faire. »

M. Gaiffe prend ensuite la parole pour la description du

Mesureur électrique du couple, de la puissance et du travail mécanique, de MM. Gaiffe et Gunther.

description qui a été donnée récemment dans ces colonnes [1].

Enfin, le président, M. Hospitalier, décrit les perfectionnements qu'il a récemment apportés à l'ondographe et présente sous le nom de

Ondographe différentiel

son nouvel appareil.

On sait que le premier ondographe [2] est basé sur une combinaison de la méthode de M. Joubert, de la méthode stroboscopique et des enregistreurs électriques. Le glissement, ou retard qui provoque l'enregistrement de la courbe, est invariablement lié à la fréquence du phénomène à enregistrer : il est caractérisé, dans tous les appareils établis par la Compagnie pour la fabrication des compteurs, par le nombre 1 000. Cela veut dire que, à la fréquence de 25 périodes par seconde, l'enregistrement se fait en 40 secondes ($25 \times 40 = 1\,000$) ; à la fréquence de 50 périodes par seconde, en 20 secondes ($50 \times 20 = 1\,000$), etc. De plus, le cylindre enregistreur, dont le développement est de 288 mm, enregistre 3 périodes occupant chacune 96 mm sur l'axe des temps.

Dans le nouvel ondographe, la durée de l'enregistrement n'est plus invariablement liée à la fréquence ; elle en est, au contraire, entièrement indépendante, et, de plus, le cylindre n'enregistre que 2 périodes, de sorte que chacune d'elles occupe 144 mm sur l'axe des temps, ce qui facilite la détermination du déphasage des

(1) *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 354, 30 mai 1903.

(2) Voir *Écl. Élect.*, t. XXVIII, p. 64, 13 juillet 1901.

différentes courbes, représentant les facteurs caractéristiques du phénomène périodique enregistré.

L'appareil comporte toujours un moteur synchrone et un commutateur disposés dans le prolongement l'un de l'autre et reliés entre eux par un train différentiel dont la couronne peut tourner autour de l'axe commun au moteur et au commutateur sous l'action d'une vis sans fin à laquelle on imprime un mouvement de rotation plus ou moins rapide à l'aide d'une manivelle. L'axe portant cette vis sans fin entraîne en même temps le cylindre par une seconde vis sans fin, et lui imprime une vitesse angulaire égale.

Dans ces conditions, on voit, en considérant les propriétés bien connues du différentiel, que si la couronne est immobile le moteur entraînera le commutateur synchroniquement : si l'on imprime à la couronne un déplacement dans un sens ou dans l'autre, le commutateur avancera ou retardera, suivant le sens de rotation de la couronne, proportionnellement au déplacement de cette couronne.

En fait, l'appareil est combiné pour que le sens favorable à l'inscription sur le cylindre produise un *retard*.

Ce retard correspondra à *un tour entier* du commutateur, c'est-à-dire à une période, pour *un demi-tour* de la couronne, et un *demi-tour* du cylindre enregistreur. Lorsque la couronne du différentiel aura fait un tour entier, le commutateur aura eu un retard de *deux* tours, et le cylindre enregistreur aura fait un tour en inscrivant 2 périodes.

Comme le glissement du contact et le déroulement du cylindre sont commandés à la main, on peut produire l'enregistrement d'une période aussi lentement qu'on le désire, sans être lié à la fréquence du phénomène à enregistrer.

La commande à la main est une sujétion dont on pourrait d'ailleurs s'affranchir en ayant recours, soit à un moteur auxiliaire électrique ou à ressort, soit à une commande directe par engrenages, soit à une série de poulies étagées permettant l'emploi de vitesses différentes par simple déplacement d'une cordelette passant sur deux de ces poulies conjuguées.

Ce modèle d'ondographe ne constitue pas, suivant M. Hospitalier, un type industriel : c'est plutôt un appareil de laboratoire et de recherches : il a été établi pour l'étude de la commutation dans les dynamos à courant continu, de façon à pouvoir suivre les plus petites variations du phénomène, variations pour lesquelles la période tracée avec 999 points pour 1 000 périodes ne fournit pas une approximation suffisante.

M. Hospitalier signale ensuite une application intéressante et originale de l'ondographe ordinaire monté en *puissancegraphe*. Il a pu, à l'aide de cet appareil, tracer, sur la même feuille de papier, les courbes de la *différence de potentiel*, de *l'intensité* et de la *puissance* dans un circuit alternatif : une bobine de self-induction sans fer dans le cas spécial. On sait que le puissancegraphe trace la puissance instantanée en reliant, pendant un temps très court pour chaque période, la différence de potentiel à la bobine mobile d'un wattmètre dont la bobine fixe est traversée par le courant alternatif. L'impulsion est alors proportionnelle au produit ui de la différence de potentiel instantanée u par l'intensité instantanée i et l'appareil trace la courbe de puissance instantanée.

Pour tracer la courbe de i, il suffit de relier le commutateur à une différence de potentiel constante U. Les impulsions sont alors proportionnelles à Ui, c'est-à-dire à i, puisque U est constant.

Pour tracer la courbe de u, on fait passer dans les bobines fixes un courant constant I fourni par un ou deux accumulateurs, et l'on relie le commutateur à la différence de potentiel alternative u. L'impulsion est alors proportionnelle à Iu, c'est-à-dire à u, puisque I est constant.

Le Gérant : C NAUD.

Tome XXXV — Samedi 27 Juin 1903. — 10e Année. — N° 26

L'Éclairage Électrique

REVUE HEBDOMADAIRE DES TRANSFORMATIONS

Électriques — Mécaniques — Thermiques

DE

L'ÉNERGIE

THÉORIE
DES ALTERNOMOTEURS POLYPHASÉS A COLLECTEUR *(Suite)* [1]

Théorie algébrique. — Il peut être intéressant, au moins pour faire ressortir les avantages de la théorie graphique, d'exposer concurremment une théorie algébrique. La méthode

---

(1) *L'Éclairage Électrique*, t. XXXV, p. 125 et 167, 25 avril et 2 mai 1903.

Diverses omissions ou incorrections typographiques sont à rectifier dans mes deux premiers articles, notamment les suivantes :

Page 130, ligne 12. Lire : $\frac{\pi}{2}$ et π, au lieu de π_2 et π.

Page 132. Lire les expressions P_1 et P_r comme suit :

$$P_1 = C\frac{\Omega}{p} + qrI'^2_1 + w_h + w_j$$

et

$$P_r = q_2V_2I_2\cos\varphi + q_2r_2I_2^2 + w'_h + w'_j.$$

Page 133. La première équation est :

$$q_2r_2I_2^2 = \frac{C(\Omega - \infty)}{p} + V_2I_2\cos\beta'.$$

Ibid, *fig*. 8. L'angle $\frac{\pi}{2}$ n'est pas au point G, mais à la rencontre de la droite BG sur F_2.

Page 135. Antépénultième équation, lire :

$$\frac{BC_1}{C_1k' + K'K} = \frac{\Phi_2}{T_2\Phi_2 + T_1V_2\Phi_2}$$

de calcul que nous employerons dans ce but, comme la plus rapide et la plus simple, sera la représentation par des imaginaires, sous la forme élégante due à M. Steinmetz [1].

Nous prendrons, pour présenter les équations sous la meilleure forme, deux axes de coordonnées OX, OY rectangulaires, dont OY définit la phase de la tension du réseau à laquelle toutes les autres phases seront rapportées comme sur nos graphiques. Toute variable A sera représentée par ses deux projections x et y sur les deux axes réunis symboliquement par le symbole $j = \sqrt{-1}$, en posant par définition

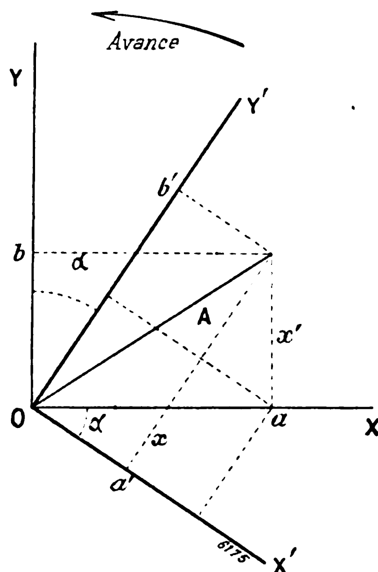


Fig. 1.

$$A = x + jy.$$

Représentons encore par α l'angle de calage des balais défini comme plus haut (p. 129), c'est-à-dire l'angle dont on a fait tourner les balais (en arrière du sens de rotation du rotor) à partir de la position qui produit la superposition du champ statorique et rotorique.

Ce décalage se représente, comme on l'a vu, sur les phases rotatives des courants et des forces électromotrices.

Pour éclaircir ce point, nous désignerons par E'_2 et I'_2 les forces contre-électromotrices et courant du rotor considérés dans leurs phases par rapport au réseau, et E_2 et I_2 *les mêmes quantités* (conservant par suite mêmes amplitudes, mais changeant de phases) considérées par rapport aux phénomènes du moteur rapportés au stator, c'est-à-dire avec leurs phases relativement à la force contre-électromotrice induite dans le stator.

La force contre-électromotrice induite dans le stator quand le calage $\alpha = 0$ est en phase avec E_1, par rapport au réseau ; faire tourner de α *en arrière* les balais qui la captent sur le collecteur, équivaut à *avancer* du même angle α la phase de cette force contre-électromotrice par rapport au réseau (puisqu'on *avance* ainsi les époques où elle est captée par les balais).

D'où nous déduisons la relation :

$$E'_2 = E_2 (\cos \alpha + j \sin \alpha). \qquad (1)$$

Page 136. Au lieu de γ, lire a : la valeur de BM à porter dans l'expression de $tg\beta$ est

$$BM = \frac{\nu_1 F_2 R p}{2\pi K_1 N_1 V_2} \frac{1 - \sigma}{\sigma}$$

Page 137. L'expression g, qui se déduit de celle de BM ci-dessus est, comme on le voit aisément :

$$g = \frac{r_2}{\sigma \Omega \lambda_2} tg\beta.$$

Page 180, lignes 31-33. Au lieu de $\frac{\Upsilon}{m}$, lire : $\frac{1}{m}$.

[1] Au lieu des axes et des angles définis par M. Steinmetz, nous emploierons plutôt ceux qu'a recommandés avec raison M. Guilbert dans le but de donner à l'impédance la forme

$$r + js,$$

au lieu de $r - js$.

[2] Le flux F ne doit pas être confondu avec le flux F_1 de nos diagrammes qui en diffère par les points magnétiques. (Voir fig. 8, p. 132.)

D'où on déduit inversement en multipliant les deux membres par $(\cos \alpha - j \sin \alpha)$

$$E_2 = E'_2 (\cos \alpha - j \sin \alpha). \qquad (2)$$

De même, comme nous l'avons vu plus haut (p. 128) pour mesurer le courant I_2 fourni par le réseau (pour s'ajouter à I_1) quand on connaît le courant I'_2 dans le rotor, il faut lui faire subir une avance de phase de α, autrement dit

$$I_2 = I'_2 (\cos \alpha + j \sin \alpha) \qquad (3)$$

et par inversion

$$I'_2 = I_2 (\cos \alpha - j \sin \alpha). \qquad (4)$$

Nous aurons dans ce qui suit à faire subir ces opérations aux variables du rotor à plusieurs reprises.

Pour simplifier les notations, nous désignerons encore dans la suite par a le rapport de transformation des enroulements primaire et secondaire.

$$\frac{K_2 N_2}{K_1 N_1} = \frac{k_2 N_2}{k_1 N_1} = a \qquad (5)$$

et par λ_1 et λ_2 les coefficients de self-induction de ces enroulements, dont je rappelle les expressions données dans un mémoire antérieur [1]

$$\frac{\pi K_1 k_1 N_1^2}{pR} = \lambda_1 \qquad \frac{\pi K_2 k_2 N_2^2}{pR} = \lambda_2. \qquad (6)$$

Nous prendrons comme variable principale le flux principal utile commun au rotor et au stator. Son expression en notation imaginaire sera

$$F = f + jf'. \qquad (7)$$

Nous écrirons de même pour les expressions des courants primaire et secondaire inconnus, pris au réseau, en rapportant leurs phases à celle de U_1 du réseau :

$$I_1 = i_1 + ji'_1 \qquad I_2 = i_2 + ji'_2 \qquad (8)$$

Le premier de ces courants est produit par la tension aux bornes du stator U_1 (que

---

[1] Il résulte du fait connu qu'en notations imaginaires, la rotation d'un vecteur X d'un angle α *en avance*, équivaut à une multiplication par

$$\cos \alpha + j \sin \alpha.$$

Pour le démontrer, il suffit de faire tourner les axes *en arrière* (ce qui revient au même que d'avancer le vecteur OA) de ce même angle α et de déterminer les projections du vecteur A sur ces nouveaux axes à l'aide des précédentes projections

$$Oa' = x \cos \alpha - y \sin \alpha$$
$$Ob' = x \sin \alpha + y \cos \alpha.$$

D'où la nouvelle expression de A.

$$A' = x \cos \alpha - y \sin \alpha + j (x \sin \alpha + y \cos \alpha)$$
$$= A \cos \alpha + jA \sin \alpha$$
$$= A (\cos \alpha + j \sin \alpha).$$

Inversement une rotation du vecteur A *en arrière* équivaudrait à une multiplication par

$$\cos \alpha - j \sin \alpha.$$

[1] Sur le rôle des fuites magnétiques. *L'Éclairage Électrique*, 1894.

nous prenons comme origine des phases) ; la force électromotrice agissante sur le rotor lui est proportionnelle et en phase

$$U_2 = mU_1. \tag{9}$$

Nous appellerons r_1 et r_2 les résistances du primaire et du secondaire, l_1 et l_2 leurs self-inductances dues aux fuites. On en déduit les expressions de l'impédance primaire

$$Z_1 = r_1 + j\Omega l_1 \tag{10}$$

en fonction de la fréquence Ω à laquelle est soumise le stator. De même, pour le rotor, soumis à la fréquence du glissement, l'inductance se trouve produire par l'effet du collecteur une réactance réduite proportionnellement et, par suite, l'impédance s'écrit

$$Z_2 = r_2 + j(\Omega - \omega) l_2. \tag{11}$$

Les expressions des forces électromotrices induites par le flux F se déduisent de l'expression de F en le multipliant par le facteur de force électromotrice K_1 ou K_2 et par la vitesse de pulsation, puis par le facteur j pour tenir compte de ce que les forces contre-électromotrices sont décalées de $\frac{\pi}{2}$ en avant du flux.

On a ainsi :

$$E_1 = \frac{\Omega k_1 N_1 j F}{2\sqrt{2}} \tag{12}$$

$$E'_2 = \frac{(\Omega - \omega) k_2 N_2 j F}{2\sqrt{2}}. \tag{13}$$

Enfin, le flux F étant produit par la résultante des ampèretours primaires et secondaires, est lié aux intensités I_1 et I'_2 par la relation

$$F = \frac{2\pi}{pR} (K_1 N_1 I_1 + K_2 N_2 I_2) \sqrt{2} \tag{14}$$

ou, en remplaçant I'_2 par sa valeur en fonction de I_2 par rapport au réseau,

$$= \frac{2\pi}{pR} \left[K_1 N_1 I_1 + K_2 N_2 I_2 (\cos \alpha - j \sin \alpha) \right] \sqrt{2}. \tag{15}$$

En substituant dans les expressions de E_1 et E'_2 cette valeur, on a :

$$E_1 = \frac{\pi \Omega k_1 K_1 N_1^2}{pR} j I_1 + \frac{\pi \Omega K_2 k_1 N_1 N_2 I_2 (\cos \alpha - j \sin \alpha)}{pR} \tag{16}$$

ou, en tenant compte des expressions de λ_1 et λ_2 rappelées plus haut,

$$E_1 = j\Omega \left[\lambda_1 I_1 + \frac{\lambda_2 I_2}{a} (\cos \alpha - j \sin \alpha) \right] \tag{17}$$

et de même, par conséquent

$$E'_2 = j(\Omega - \omega) \left[a\lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 (\cos \alpha - j \sin \alpha) \right]. \tag{18}$$

Exprimons que la tension du réseau est la résultante de la force électromotrice et de la perte de charge dans le stator

$$E_1 + Z_1 I_1 = U_1. \tag{19}$$

De même dans le rotor nous aurons

$$E'_2 (\cos \alpha + j \sin \alpha) + z_2 I_2 = U_2, \tag{20}$$

en rappelant que la force électromotrice E'_2 recueillie par les balais se trouve décalée de l'angle α en avance par le fait du décalage des balais suivant l'angle α (le courant I_2 est déjà décalé). Enfin les puissances fournies par le réseau au stator et au rotor sont évidemment

$$P_1 = q_1 i_1 U_1 + W_1 \quad (21)$$

$$P_2 = q_2 i_2 U_2 + W_2 \quad (22)$$

en appelant W_1 et W_2 les pertes par hystérésis et Foucault dans les deux parties respectivement.

Nous pouvons maintenant éliminer E_1 et E_2 dans les équations (17) et (18) en les remplaçant par leurs valeurs.

D'où :

$$\frac{\Omega j}{a}\left[a\lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 (\cos\alpha - j\sin\alpha)\right] + (r_1 + j\Omega l_1) I_1 = U_1 \quad (23)$$

$$(\Omega - \omega) j (\cos\alpha + j\sin\alpha)\left[a\lambda_1 I_1 + \lambda_2 I_2 (\cos\alpha - j\sin\alpha)\right] + \left[r_2 + j(\Omega - \omega) l_2\right] I_2 = U_2. \quad (24)$$

Si l'on ajoutait une impédance entre le réseau et le rotor, comme elle sera parcourue par des courants de fréquence normale, elle devrait ajouter au premier nombre un terme de la forme

$$(R'_2 + j\Omega L'_2) I_2.$$

Pour simplifier l'écriture,nous désignerons par L_1 et L_2 les impédances totales statorique et rotorique

$$L_1 = \lambda_1 + l_1 \qquad L_2 = \lambda_2 + l_2.$$

Ces équations peuvent s'écrire encore

$$\left[r_1 + j\Omega L_1\right] I_1 + \frac{\Omega\lambda_2}{a}(\sin\alpha + j\cos\alpha) I_2 = U_1 \quad (25)$$

$$(\sin\alpha - j\cos\alpha)\, a\lambda_1 I_1 (\Omega - \omega) + \begin{bmatrix} r_2 + j(\Omega - \omega) L_2 \\ + R'_2 + j\Omega L'_2 \end{bmatrix} I_2 = U_2. \quad (26)$$

Pour connaître les valeurs de I_1 et I_2, il n'y a plus qu'à résoudre par élimination ce système de deux équations linéaires ; d'où

$$\left\{\begin{matrix} \left[r_1 + j\Omega L_1\right]\begin{bmatrix} r_2 + j(\Omega - \omega) L_2 \\ + R'_2 + j\Omega L'_2 \end{bmatrix} \\ + (\Omega - \omega)\lambda_2 \Omega\lambda_1 \end{matrix}\right\} I_1 = \left\{\begin{matrix} U_1 \begin{bmatrix} r_2 + j(\Omega - \omega) L_2 \\ + j\Omega L'_2 \end{bmatrix} \\ - U_2 \frac{\Omega\lambda_2}{a}(\sin\alpha + j\cos\alpha) \end{matrix}\right\} \quad (27)$$

$$\left\{\begin{matrix} \Omega\lambda_1 (\Omega - \omega)\lambda_2 \\ + \left[r_1 + j\Omega(L_1)\right]\begin{bmatrix} r_1 + j(\Omega - \omega) L_2 \\ + R'_2 + j\Omega L'_2 \end{bmatrix} \end{matrix}\right\} I_2 = \left\{\begin{matrix} U_1 (\Omega - \omega)\, a (\sin\alpha - j\cos\alpha)\lambda_1 \\ + U_2 \left[r_1 + j\Omega L_1\right] \end{matrix}\right\} \quad (28)$$

En posant

$$\Delta = r_1 (r_2 + R'_2) - \Omega L_1 \left[(\Omega - \omega) L_2 + \Omega L'_2\right] + (\Omega - \omega)\lambda_2 \Omega\lambda_1 \quad (29)$$

$$\Delta' = (r_2 + R'_2)\Omega L_1 + r_1 \left[(\Omega - \omega) L_2 + \Omega L'_2\right], \quad (30)$$

et en explicitant I_1 et I_2 en fonction de leurs deux composantes, les deux équations de-

viennent

$$(\Delta + j\Delta')(i_1 + ji'_1) = \left[r_2 U_1 + \frac{\Omega\lambda_2 \sin\alpha}{a} U_2\right] + j\left[\begin{matrix} U_1(\Omega - \omega)L_2 - U_2 \frac{\Omega\lambda_2}{a}\cos\alpha \\ + U_1 \Omega L'_2 \end{matrix}\right] \quad (31)$$

$$(\Delta + j\Delta')(i_2 + ji_2') = \left[r_1 U_2 + a(\Omega - \omega)\lambda_1 \sin\alpha\, U_1\right] + j\left[U_2 \Omega L_1 - U_1 a(\Omega - \omega)\lambda_1 \cos\alpha\right] \quad (32)$$

Elles sont de la forme

$$(\Delta + j\Delta')(i_1 + ji_1') = A + jA',$$

ce qui conduit à la solution

$$\Delta i_1 - \Delta' i_1' = A$$

$$\Delta' i_1 + \Delta i_1' = A'$$

et par suite

$$i_1 = \frac{A\Delta + A'\Delta'}{\Delta^2 + \Delta'^2} \quad (33)$$

$$i_1' = \frac{A'\Delta - A\Delta'}{\Delta^2 + \Delta'^2} \quad (34)$$

$$I_1 = \sqrt{\frac{A^2 + A'^2}{\Delta^2 + \Delta'^2}} \qquad \operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{i'_1}{i_1} = \frac{A'\Delta - A\Delta'}{A\Delta + A'\Delta'}. \quad (35)$$

On trouverait de même i_2 i'_2 I_2 et tg φ'_2.

La valeur $\Delta_1^2 + \Delta_2^2$ peut s'écrire :

$$\Delta_2^2 + \Delta_1^2 = \left\{ \begin{matrix} (r_1^2 + \Omega^2 L_1^2)\left\{(r_2^2 + R'_2)^2 + [(\Omega - \omega)L_2 + \Omega L'_2]^2\right\} + (\Omega - \omega)^2 \lambda_2^2 \Omega^2 \lambda_1^2 \\ + 2(\Omega - \omega)\lambda_2 \Omega \lambda_1 \left\{r_1(r_2 + R'_2) - \Omega L_1[(\Omega - \omega)L_2 + \Omega L'_2]\right\}. \end{matrix} \right. \quad (36)$$

Les numérateurs se calculeraient de même.

Le couple-moteur, en vertu d'une équation précédente, aura pour valeur

$$C = q_1\left[\frac{pU_1 i_1}{\Omega} - r_1 I_1^2\right] = q_1\left[\frac{pU_1}{\Omega}\frac{A'\Delta - A\Delta'}{\Delta^2 + \Delta'^2} - r_1 \frac{A^2 + A'_2}{\Delta^2 + \Delta'^2}\right]$$

En le multipliant par la vitesse, on a la puissance mécanique recueillie

$$P = \frac{(\Omega - \omega)C}{p}$$

La puissance totale fournie au moteur est en valeur algébrique

$$P = q_1 U_1 i_1 + q_2 U_2 i_2 + W_1 + W_2,$$

en appelant W_1 et W_2 les pertes par hystérésis et Foucault de l'inducteur et de l'induit.

Le rendement est

$$\eta = \frac{(\Omega - \omega)}{p}\frac{C}{P}.$$

Quand i_1 devient négatif, la puissance

$$q_1 U_1 i_1$$

change de signe, ainsi que le couple-moteur, et la machine transforme alors du travail-moteur en énergie, autrement dit, devient génératrice.

Quand i_2 devient négatif, la puissance

$$q_2 U_2 i_2$$

change de signe, et mesure l'énergie transférée du stator au réseau par le rotor.

Malheureusement, les formules qui renferment cette solution sont bien moins maniables que celles du moteur asynchrone ordinaire [1]. Nous sommes ainsi conduits à préférer la méthode graphique en la rendant encore plus précise, si cela est nécessaire en corrigeant le diagramme, comme on l'indiquera, pour tenir compte de la résistance primaire que nous avons négligée en supposant le flux primaire F_1 constant.

A. BLONDEL.

[1] Pour celles-ci, voir un précédent article publié dans *L'Éclairage Électrique* en 1894.

REVUE INDUSTRIELLE ET SCIENTIFIQUE

TÉLÉGRAPHIE

Sur les cohéreurs, par le **Dr Hurmuzescu**. *Annales scientifiques de l'Université de Iassy*, t. II, 2e fascicule, mars 1903.

Dans ce mémoire, communiqué au premier Congrès roumain des sciences tenu à Iassy en juin 1902, l'auteur, après un historique que nous reproduisons ci-dessous [2], expose les travaux qu'il a entrepris dans le but de reconnaître si, comme certaines expériences préliminaires

[2] Le plus important appareil de la télégraphie par les ondes électriques est sans aucune contestation le récepteur ou le détecteur d'ondes. Le radioconducteur ou le cohéreur est un de ces appareils. Il est basé sur la propriété générale qu'ont les limailles métalliques de diminuer leur résistance électrique sous l'influence des ondes électriques.

Ce phénomène a été découvert par M. Branly (M. ED. BRANLY. *Rapports présentés au Congrès international de physique*, Paris, 1900, t. II, p. 325. — Il paraît que d'autres expérimentateurs avaient rencontré déjà ces phénomènes, lesquels sont restés isolés et inconnus de la plupart des physiciens jusqu'à leur découverte récente par M. Branly. A. RIGHI. *Rapports C. In. Ph.* t. II, p. 307), à l'aide de l'expérience suivante d'abord : si l'on prend un tube d'ébonite contenant de la limaille métallique entre deux pistons métalliques, qui bouchent ainsi le tube, et si l'on réunit ces deux pistons ou *électrodes* en séries avec une pile et un galvanomètre de sensibilité moyenne, d'une manière générale on constate que le courant ne passe pas; mais si l'on décharge une bouteille de Leyde à travers le tube à limaille, celui-ci devient conducteur et le courant passe. Un petit choc ou une secousse ramène de nouveau le tube à limaille à l'état initial de grande résistance.

Le même auteur constata que pour obtenir cette diminution de résistance de la limaille métallique, il suffisait qu'une décharge électrique se produisît dans le voisinage. Il obtint ce phénomène même lorsque la limaille était mélangée à des substances isolantes, comme es le soufre, la paraffine, et même lorsqu'elle se trouvait emprisonnée dans ces substances à la suite de la fusion de ce mélange.

Pour expliquer ces phénomènes M. Branly admet une certaine polarisation du diélectrique qui sépare les grains métalliques.

Quelques temps après, M. Lodge (*Philosophical Magazine*, t. XXXVII, p. 96) reprit ces expériences. Il étudia l'action des ondes électriques sur les limailles et put déceler l'action des ondes à plus de 100 mètres de leur source de production, toujours par la diminution de la résistance électrique des limailles métalliques.

Les résultats de ces nombreuses expériences ont mené M. Lodge à considérer que la meilleure explication réside dans la cohésion ou la cohérence des grains métalliques par la suite des étincelles qui jaillissent entre ces particules métalliques soumises à l'action de l'induction électrique.

M. Popoff (*Journal de la Société Physico-Chimique Russe*, t. XXVIII, 1896) utilisa cette propriété de la limaille pour enregistrer les décharges électriques de l'atmosphère.

Dans son dispositif il introduit le relais avec le marteau frappeur pour ramener le tube à l'état initial.

Tel était l'état de cette question lorsque M. Marconi publia ses expériences de télégraphie sans fil.

M. Marconi (*Éclairage Électrique*, t. XII, p. 219) montra que, par des dispositions spéciales, on peut obtenir une grande sensibilité de la part de certaines limailles pour déceler l'existence des ondes électriques. Il trouva ainsi une application très importante à la transmission des signaux à distance, découvrant ainsi la télégraphie à l'aide des ondes électriques.

Depuis, beaucoup de physiciens et expérimentateurs ont essayé de rendre cet appareil non seulement sensible

le lui avaient fait soupçonner, les variations de résistance des cohéreurs sous l'action des ondes dépendent du temps plus ou moins long pendant lequel elles agissent. Il a mesuré d'un côté

---

mais précis en même temps. D'autres s'en sont occupés au point de vue théorique et ont essayé de donner une explication plus complète de ces phénomènes.

La grande sensibilité des *cohéreurs* de M. Marconi par rapport à ceux employés avant lui par M. Branly, M. Lodge et M. Popoff tient à ceci : l'intervalle entre les deux électrodes est très petit, de l'ordre du millimètre, la grosseur des grains de la limaille est moyenne et uniforme et le métal appartient à la classe de ceux qui s'oxydent un peu. Le mélange des métaux et des alliages surtout donnent les meilleurs résultats.

Les conditions d'un bon cohéreur doivent être : d'abord de diminuer notablement sa résistance par les ondes électriques c'est-à-dire se *cohérer* rapidement, et puis de revenir de nouveau à son état initial par un petit choc, une secousse, ou tout autre moyen analogue; ce dernier changement constitue le phénomène de la *décohération*.

M. Blondel (A. Blondel et G. Dobkevitch. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. CXXX, p. 1123) a montré que cette action se produit facilement lorsque la force électromotrice, introduite entre les deux électrodes du cohéreur, ne dépasse pas une valeur maximum, qu'il appelle tension critique. Cette tension varie suivant les cas. Elle est de l'ordre du volt.

Cohération magnétique. — Pour régler la sensibilité du cohéreur M. Tissot (*C. R.* t. CXXX, p. 902) le soumet à l'action d'un champ magnétique, en mettant le tube à limaille magnétique (fer, nickel, cobalt) et à électrodes de fer, dans la direction d'un champ magnétique, provenant d'un aimant ou d'une bobine. Mais dans cette disposition la limaille s'aimante après quelques temps et la décohération se fait plus difficilement.

Décohération magnétique. — On peut employer avec plus de succès l'action d'un champ magnétique normal à la direction du tube pour produire la décohération plus sûre et plus régulière que par le choc; chose facile à obtenir avec un réglage déterminé. Pourtant le même inconvénient se présente à la longue dans ce cas, la limaille magnétique s'aimante d'une manière permanente et l'appareil perd de sa sensibilité, puisque la décohération se fait de plus en plus difficilement.

Décohération spontanée. — Un fait d'une plus grande importance au moins théorique a été trouvé par M. Tommasina, c'est que des appareils semblables obtenus avec les grenailles de charbon (employées dans les microphones) présentent le phénomène, de la décohération spontanée (*C. R.* t. CXXX, p. 904). C'est-à-dire que ces systèmes diminuent leur résistance sous l'influence de l'onde, mais aussitôt que cette action a passé, leur résistance augmente brusquement à la valeur primitive.

Cette découverte a été revendiquée après par M. Branly (*C. R.* t. CXXV, p. 939, 1897) et par MM. Popoff et Ducretet (*C. R.* t. CXXX, p. 1041, 1900).

Avec ces cohéreurs l'opération se trouve beaucoup simplifiée, car on n'a plus besoin du marteau frappeur pour ramener le tube à limaille à sa résistance primitive. Pourtant l'emploi de ces cohéreurs a été très limité à cause de leur manque de sensibilité.

M. le capitaine Ferrié a fait une étude plus approfondie sur les cohéreurs décohérents. Il a obtenu ces phénomènes aussi entre métal-charbon, le zinc lui a donné le meilleur résultat. Le contact entre deux métaux présente dans ce cas un réglage très difficile. Des résultats moins bons ont donné ces contacts dans le pétrole comme diélectrique.

Anticohéreurs. — Il y a des systèmes sur lesquels l'action de l'onde électrique produit un phénomène contraire, c'est-à-dire que leur résistance augmente sous l'influence des ondes électriques. Ces effets ont été découverts par M. Neugschwender (*Wiedemann's, Ann.* t. LXVII, p. 430 et t. LXVIII, p. 92) et par M. Aschkinass (*Wied. Ann.* t. LXVI, p. 284).

Cette action se présente pour les contacts humides. M. Branly a trouvé aussi une augmentation de résistance pour un système à oxyde de plomb; M. Bose, pour le potassium et le magnésium dans le kérasène. Ainsi si l'on prend une glace argentée et que l'on sépare son argenture par une fente étroite, sur laquelle on dépose une couche mince d'humidité, en soufflant dessus, ou quelques gouttes d'un électrolyte liquide, on a un contact humide conducteur. Toutes les fois que les ondes agissent, sa résistance électrique augmente. Neugschwender explique cela par l'existence des filaments métalliques qui se rompent sous l'action des ondes électriques. Un anticohéreur pratique a pu être employé dans la télégraphie sans fil pour recevoir les ondes électriques jusqu'à 50 km environ.

Récepteurs d'ondes ou détecteurs d'ondes. — Le cohéreur avec les fils, qui forment le circuit, est un résonateur et comme tel il reçoit l'onde électrique. Du reste tous les résonateurs sensibles peuvent servir à la télégraphie sans fil. M. Righi (*Rendiconti della reale Academia dei Lincei*, vol. VI, fasc. 9, novembre 1899) a employé deux fils métalliques très rapprochés (0,5 mm) dans le vide.

L'action de l'onde était visible par les étincelles qui apparaissaient entre les deux bouts du fil.

M. Blondel (*Comptes rendus*, t. CXXX, p. 1383) utilise pour indiquer les ondes un tube de Geisler construit spécialement de la manière suivante : ses électrodes sont terminées à l'intérieur du tube par de larges surfaces très rapprochées. Ce tube se trouve réuni en série avec un téléphone. Lorsque l'onde électrique agit on entend le téléphone parler. Tous ces récepteurs tout en étant très simples et très réguliers ont un défaut capital qui limite leur emploi, c'est leur trop faible densité.

Dernièrement M. Marconi a employé un détecteur magnétique (*On the Magnetic detector*, note de M. Marconi présentée à la *Royal Society* par le professeur Fleming, 12 juin 1902), dont le fonctionnement est basé sur la désaimantation, qu'éprouvent les barreaux d'acier aimantés à saturation, lorsque ces barreaux se trouvent dans une bobine soumise à l'action des ondes électriques,

Nous bornerons ici l'énumération des différents systèmes employés pour déceler les ondes électriques. Ceux

le temps pendant lequel agit l'onde électrique et d'un autre côté il a mesuré en même temps la variation de résistance produite.

Méthode expérimentale. — Pour mesurer la durée de l'action de l'onde électrique, on évaluait d'une manière arbitraire le temps pendant lequel on fermait le circuit primaire d'une bobine d'induction, qui produisait des décharges entre deux boules sphériques d'un oscillateur.

Cette fermeture du courant primaire pendant un temps déterminé était obtenue par un commutateur à mercure commandé par un métronome.

La flèche de cet instrument supportait une fourche à trois dents de gros fil de cuivre. La dent du milieu trempait toujours dans un godet de mercure, tandis que les deux autres latérales prenaient contact avec le mercure par l'oscillation. Ce contact était plus ou moins long suivant

---

que nous avons décrits nous suffisent pour donner une idée des phénomènes auxquels on a recours pour le choix de ces indicateurs d'ondes.

Parmi tous ces appareils, le plus sensible et aussi le plus robuste jusqu'à présent, c'est le cohéreur proprement dit, c'est le plus usité dans la télégraphie par les ondes électriques.

En nous appuyant sur les différents phénomènes nous allons voir quelle est la meilleure explication des cohéreurs.

A première vue l'explication de M. Branly paraît la plus générale et la plus complète, mais d'après cela il s'ensuivrait que ces phénomènes soient indépendants de la nature du métal de la limaille, ce qui n'est pas ; on trouve au contraire que la nature de la limaille y entre pour beaucoup. A ceci on a ajouté que la couche d'oxyde qui se forme à la surface des grains métalliques peut être regardée comme faisant partie du diélectrique. On peut supposer aussi que ces variations de résistance électrique par les ondes électriques soient dues à la couche de gaz condensé dans le métal et dans l'oxyde formé à sa surface (Guthe et Trombridge, *L'Éclairage Électrique*, t. XXIX, p. 17).

Pourtant dans ces hypothèses il nous semble difficile d'admettre la persistance de ces modifications après le passage de l'onde.

L'explication de M. Lodge convient mieux, au moins pour les cohéreurs proprement dits. Elle trouve de très favorables points d'appui dans les expériences de M. Arons (*Wied. Ann.*, t. LXV, p. 567-571), qui a observé au microscope les étincelles apparaissant entre les grains métalliques et leur orientation sous l'influence des ondes électriques, surtout des décharges électriques. M. Tommasina (*Comptes rendus*, t. CXXVIII, p. 1092) a pu montrer expérimentalement la formation de ces chaînettes de grains entre deux surfaces ayant une différence de potentiel de quelques volts seulement.

L'hypothèse de M. Lodge ne peut expliquer les anticohéreurs, car s'il y a orientation des particules métalliques et formation des chaînes métalliques on ne comprend pas comment la résistance augmenterait. De même on ne peut pas expliquer la cohération, dans le cas d'une limaille mélangée et emprisonnée dans un diélectrique solide.

M. Bose (Rapport présenté au Congrès de physique, Paris 1900) considère les variations des résistances électriques produites par les ondes électriques dans les limailles métalliques comme étant dues aux modifications allotropiques de ces substances ; pour les unes ces modifications entraîneraient une augmentation de leur résistance électrique (les anticohéreurs), pour d'autres des diminutions de résistance (les cohéreurs).

Il propose d'appeler ces appareils des *récepteurs moléculaires* au lieu de cohéreurs ou de radio-conducteurs.

M. Guthe (*Ann. der Phys.*, t. IV, p. 762) oppose à ces considérations des expériences très nettes où des cohéreurs à un seul contact peuvent fonctionner tantôt comme cohéreurs, tantôt comme anticohéreurs suivant le degré d'excitation, et que le contact du potassium peut donner une diminution de résistance, contraire aux expériences de Bose.

M. Ferrié (Rapport présenté au Congrès International d'Electricité de 1900, voir *L'Éclairage Électrique*, t. XXIV, p. 599) qui s'est occupé à étudier les cohéreurs autant au point de vue des applications qu'au point de vue théorique a essayé de donner une explication plus complète.

D'après cette théorie le fonctionnement des cohéreurs repose sur les deux hypothèses suivantes : 1° deux grains de limaille métallique forment un condensateur dont le diélectrique peut être percé par l'étincelle, quand sous l'influence des ondes électriques, la différence de potentiel entre les deux grains atteint une valeur déterminée, cette étincelle entraîne des particules métalliques, phénomène connu de l'électrostatique, et il se forme des ponts conducteurs entre les grains. Ceci produit la conductance du cohéreur.

2° Lorsque ces ponts conducteurs ont été rompus, ils restent entre les grains très rapprochés des canaux vides de toute matière, dans lesquels prendraient naissance des effluves électriques. Ces effluves augmentent par suite de l'élargissement des canaux lorsque la différence de potentiel des grains croît par les ondes ; il en résulte une augmentation de la conductance du cohéreur. Aussitôt que l'onde a passé, les canaux diminuent de section, les effluves diminuent de même, donc la résistance augmente. Les variations de résistance des cohéreurs autodécohérents tiendraient à l'élasticité et à l'adhérence du diélectrique.

Cette seconde hypothèse ne semble pas admissible sans de sérieuses restrictions. On ne peut prouver en aucune manière l'existence de ces canaux, il faudrait admettre qu'il y ait des différences de pression entre les différents points d'un même système, ce qui reste à voir. Dans le vide absolu il n'y a pas d'effluves possibles, donc dans ces canaux il ne peut pas y avoir le vide absolu, mais un vide relatif.

****

que l'amplitude et la période de l'oscillation du métronome étant plus ou moins grandes.

Pour la mesure de la variation de résistance électrique, on a adopté la méthode suivante : le cohéreur se trouve avec une pile et une résistance R′ dans le circuit n° 1 d'une bobine d'un galvanomètre différentiel Wiedemann-d'Arsonval, de faible résistance ; dans le circuit n° 2 de l'autre bobine se trouve une résistance R allant de 1 à 30 000 ohms.

Les deux circuits ont une pile commune et aboutissent à une double clé.

Sur le circuit 1 il y avait une dérivation facultative au moyen d'une clé Morse et suivant la position de cette clé, le cohéreur se trouvait être sorti ou introduit dans le circuit.

L'aiguille du galvanomètre reste au zéro lorsqu'on a

$$i_1 = i_2 ;$$

or

$$i_1 = \frac{E}{x + b} \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{E}{a + R};$$

d'où

$$a + R = x + b,$$

a étant la résistance très faible du circuit n° 2 moins R, et b la résistance du circuit n° 1 sauf le cohéreur.

Donc

$$x = R + a - b;$$

a et b étant du même ordre, leur différence est petite et absolument négligeable lorsque R est de l'ordre de 100 ohms : il s'en suit qu'en ayant R on a x.

Cette méthode n'a pas la sensibilité de la méthode du pont de Wheatstone, mais elle supprime les inconvénients des extra-courants pendant le régime variable du cohéreur. Dans les mesures effectuées, ce qui intéressait le plus, ce n'était pas autant la valeur de la résistance du cohéreur à un moment donné, mais surtout la variation de cette résistance pendant un temps déterminé. Il fallait donc pouvoir mesurer vite la résistance du cohéreur qui variait entre des limites très grandes.

Par l'emploi du galvanomètre différentiel on avait l'avantage de compenser les actions sur l'aiguille, de sorte que l'image lumineuse réfléchie par le miroir se trouvait toujours sur la règle divisée.

Lorsqu'on était arrivé à un régime plus régulier, par la clé Morse M on sortait du circuit le cohéreur et on introduisait en R′ la résistance équivalente. Ainsi on avait une mesure directe de la résistance du cohéreur.

Une grande partie des mesures effectuées pendant le régime permanent ont été obtenues indifféremment par cette méthode ou par la méthode du pont de Wheatstone, en employant pour cette dernière une boîte à pont, en série, dont les deux clés sont toujours fermées de manière à diminuer l'action des extra-courants.

On vérifiait que les extra-courants n'avaient pas d'influence sur l'état du cohéreur; en effet, en introduisant pendant quelque temps une résistance appréciable dans le pont et en la supprimant on constatait que l'état du cohéreur n'avait pas changé.

Le cohéreur soumis à l'expérience était formé d'une limaille métallique, en général enfermée dans un tube de verre, d'ébonite ou d'ivoire et serrée entre deux pistons de même métal ou de métal différent.

Ces pistons constituaient les électrodes entre lesquelles on mesurait la résistance électrique du cohéreur.

Ce dernier était fixé seul à un support solide installé sur un support massif afin que les trépidations n'eussent aucune influence sur lui. Pour le même motif les fils de connexion n'arrivaient pas directement au cohéreur, mais ils étaient fixés aux deux bornes du support où aboutissaient aussi les deux électrodes.

Marche d'une expérience. — On commençait d'abord par préparer la limaille d'un certain métal ou d'un mélange de deux et quelquefois de trois métaux, on choisissait autant que possible les grains de même dimension, après quoi on montait le cohéreur et on le portait tout de suite à l'appareil pour mesurer l'état de la limaille.

Première période. — On mesurait sa résistance et on le tenait en observation pendant le temps suffisant pour que son état devint plus stable.

Deuxième période. — Après cela, on faisait agir les ondes électriques, en commandant à une distance minimum de 6 m, au moyen d'un commutateur électrique l'oscillateur d'une bobine de Ruhmkorff ; on mesurait la variation de résistance résultante. On observait d'une ma-

nière continue l'état du tube dont la résistance généralement variait.

Troisième période. — A la suite d'un certain nombre d'expériences, variables avec la nature de la limaille, son état et son temps de service antérieur, le cohéreur gagnait un état déterminé, dépendant des chocs et des ondes électriques, mais suffisamment constant dans l'intervalle de cette expérience.

C'est dans cette dernière période qu'on étudiait l'influence du temps pendant lequel agissait l'onde électrique. On croisait les expériences pour éliminer les erreurs provenant d'une altération possible du cohéreur.

Résultats des expériences. — 1° D'une manière générale tous les cohéreurs présentent la première période, c'est-à-dire les variations de résistance sans aucune cause apparente, du commencement; mais on observe que de préférence cette période présente plus de changements et dure plus longtemps, lorsque les grains de la limaille ne sont pas trop petits, lorsqu'ils ne sont pas suffisamment serrés, lorsque la limaille est fraîche surtout et non oxydée.

On observe cette première période instable très facilement avec la poudre et la grenaille de charbon. Avec le magnésium on obtient une période de variations rapides de la résistance.

Ce dernier cohéreur avait les électrodes en argent et la limaille en magnésium. Un autre cohéreur à électrodes en argent et à limaille d'antimoine a présenté une variation spontanée de résistance de 252 ohms à 148 ohms après cinquante secondes et à 100 ohms après cinquante autres secondes.

Si à la place de la limaille d'antimoine on emploie la limaille de bismuth, on observe une variation spontanée en sens inverse, c'est-à-dire que la résistance augmente ; donc l'on a une *décohération spontanée*.

Un mélange de limaille de bismuth et d'antimoine présente une diminution de résistance, donc une *cohération spontanée*. Ainsi comme exemple, avec un tel cohéreur la résistance a passé spontanément de 436 ohms à 296 ohms après 10 minutes et est tombée à 87 ohms après une demi-heure.

La limaille de tellure présente de même ce phénomène de la *cohération spontanée*. Un tel cohéreur a montré une diminution de résistance de 126 ohms à 91 ohms après quelques minutes seulement.

Avec de la limaille d'uranium on a observé des phénomènes de cohération et décohération spontanée très rapides et très grands pour un certain réglage de la pression à laquelle était soumise la limaille.

Les limailles oxydées par le chauffage présentent cette première période d'instabilité à un moindre degré.

2°) L'état variable dans la deuxième période se présente d'une manière générale pour tous les systèmes chez lesquels on a observé un état très variable dans la première période ; mais il y a aussi des cohéreurs qui présentent ces variations, à la suite des premières actions des ondes électriques. Ainsi un cohéreur à électrodes en acier poli et à grains de magnésium dont la première période a été de très courte durée et dont la résistance s'était établie à 7 638 ohms, prit une résistance de 3 ohms seulement sous l'action des ondes ; abandonné à lui-même sa résistance augmenta d'une manière continue et atteignit sa valeur primitive au bout de quelques secondes ou une minute tout au plus. Cette expérience a été répétée une dizaine de fois, les résultats ont été toujours les mêmes.

On a trouvé des exemples de cette *décohération spontanée* après que l'onde électrique eut agi, avec beaucoup de cohéreurs, et l'on pourrait dire sans exagération que tout système, pour un réglage et un état déterminé de la limaille, doit présenter le phénomène de la *décohération spontanée* plus ou moins net, dans une période de temps plus ou moins long au commencement de son emploi. Ainsi un cohéreur à électrodes de laiton et limaille en acier dur subit, sous l'influence de l'onde électrique, une diminution de résistance de 10 000 ohms à 9,3 ohms, puis, abandonné à lui-même, sa résistance a augmenté lentement et au bout de 5 minutes elle était devenue égale à 100 ohms environ. Ce phénomène de la décohération spontanée s'est répété avec de faibles modifications quatre ou cinq fois, après quoi il a disparu complètement.

En secouant la limaille et en obtenant un autre réglage, on peut retrouver de nouveau ce phénomène, mais beaucoup plus fugitif cette fois-ci. Comme exemples de cohéreurs dont la seconde période est assez remarquable, on peut

citer ceux à électrodes en argent et limaille en aluminium et bismuth et ceux à électrodes en fer et limaille de nickel. Les contacts entre charbons (de michrophone) ou entre charbon et métal présentent, comme on sait déjà, le phénomène de la décohération spontanée au plus haut degré et d'une manière plus régulière.

Pourtant un cohéreur à électrodes en charbon et à limaille de fer a donné des phénomènes de cohération spontanée d'abord et de décohération spontanée ensuite jusqu'à ce qu'il soit devenu régulier dans la troisième période.

Partant d'une résistance primitive R_0, on faisait agir les ondes électriques pendant un temps t, la résistance devenait R, laquelle variait d'elle-même au bout de quelques secondes. On ramenait de nouveau, par un petit choc, la résistance à R_0 et l'on recommençait l'expérience. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau suivant :

R_0	R		
10 000 ohms	81 ohms et diminuait peu		
»	195	après 15"	121 ohms
»	192	» »	139
»	241	» »	108
»	242	» »	135
»	191	» »	120
»	99	et diminue peu	
»	95	» augmente	
»	après	10 minutes	176
»	102	et augmente	
»	118	»	
»	91	»	
»	102	»	
»	80	et reste fixe	
»	94	invariable	
»	78	»	

Après quoi le système devient régulier.

3° Supposons maintenant que le cohéreur, pour un réglage déterminé, après les variations de la première et deuxième période soit entré dans la troisième.

Cette période est caractérisée par ce fait, que la variation de résistance se fait entre deux valeurs R_0 et R, c'est-à-dire que par l'action de l'onde le cohéreur éprouve une diminution de résistance de la valeur initiale R_0 à une valeur actuelle R et que par un moyen quelconque de décohération la résistance revient de nouveau à la valeur primitive R_0 ou à une valeur très approchée. En faisant agir de nouveau l'onde on doit trouver de nouveau une valeur voisine de R.

C'est dans cette période que M. Hurmuzescu a étudié l'influence du temps pendant lequel agit l'onde électrique sur le cohéreur ; *a*) d'abord quand sa résistance primitive R_0 devient R ; *b*) ensuite lorsque sa résistance étant R par suite d'une première action des ondes, devient R_1 par une action ultérieure.

a) En faisant agir les ondes électriques pendant un temps plus ou moins long sur un cohéreur, à partir de sa résistance primitive R_0, M. Hurmuzescu a obtenu des résultats très concordants que l'on peut résumer ainsi :

En observant ces résultats on voit :

α) Le temps pendant lequel agit l'onde électrique sur le cohéreur a une influence considérable sur sa variation de résistance.

β) Il existe un temps t déterminé, pour chaque système (vibrateur, cohéreur), que nous appellerons temps normal, pour lequel la résistance R prend une valeur minimum.

γ) Pour un temps plus petit ou plus grand que le temps normal la résistance R du cohéreur prend une valeur plus grande.

En d'autres termes : *la résistance du cohéreur diminue par rapport au temps pendant lequel agissent les ondes électriques, et passe par un minimum.*

Si l'on rapporte ce résultat à un système d'axes coordonnés, le temps étant pris comme l'abscisse et la résistance comme l'ordonnée, la courbe représentative serait donc composée d'une branche voisine de l'axe des ordonnées s'abaissant rapidement vers l'axe des abscisses et d'une seconde branche remontant en s'écartant de ce dernier axe.

Les expériences précédentes ne donnent que la partie de cette seconde branche située dans le voisinage du minimum.

b) Continuons l'étude de l'action des ondes électriques sur le cohéreur dans la seconde phase de la troisième période, c'est-à-dire lorsque par une première action des ondes la résistance est tombée de R_0 à R.

Dans cette phase il y a deux cas à distinguer :

α) pour des systèmes tels que : électrodes fer ou argent avec les limailles argent, fer, nickel, aluminium, cuivre, laiton, etc., une action ultérieure des ondes ne change pas la résistance du système si le point figuratif se trouve au minimum ou de l'autre côté de ce minimum. Mais si la résistance actuelle R du cohéreur à la suite

d'une première action des ondes se trouve être en deçà du minimum, par une action ultérieure de ces ondes la résistance R descend vers la valeur minimum.

Pour ces corps la courbe représentative ne présente qu'une toute petite branche montante au delà du minimum, après quoi elle devient parallèle à l'abscisse, c'est-à-dire qu'on peut faire agir les ondes tant qu'on voudra, la résistance R restera la même.

β. Pour des systèmes formés par des électrodes en fer ou en argent et avec des limailles de cadmium, uranium, magnésium, chrome et manganèse, les choses se présentent autrement. Dans ce cas une action ultérieure des ondes augmente toujours plus ou moins la résistance.

L'exemple le plus net de ces phénomènes est donné par des cohéreurs avec limaille de manganèse. Ainsi un de ces cohéreurs à électrodes d'argent dont la résistance initiale dépassait 10 000 ohms, présentait après 1, 2, 3, 4 actions successives des ondes, les résistances indiquées ci-dessous.

R_1	R_2	R_3	R_4
60 ohms	90 ohms	130 ohms	10 000 ohms
125	300	10 000	—
80	180	300	10 000
163	560	10 000	—
150	360	—	—
361	425	—	—
371	572	—	—
373	10 000	—	—

Après un autre réglage portant la résistance primitive à 30 000 ohms, on a obtenu

R_1	R_2	R_3
58	328	10 000
42	658	—

Un autre cohéreur à limaille de manganèse mais à électrodes de résistance initiale supérieure à 10 000 ohms a fourni :

R_1	R_2	R_3	R_4
62 ohms	230 ohms	10 000 ohms	— ohms
200	87	320	10 000
120	470	10 000	—

Cohéreurs à large surface. — Un tel cohéreur fut réalisé en enroulant l'un sur l'autre les deux bouts libres d'un fil de magnésium très peu oxydé. Les deux autres bouts étaient mis en série avec une pile, une boîte de résistance et un galvanomètre. La résistance primitive R_0 de ce circuit était plus grande que 10 000 ohms. En faisant agir l'onde, la résistance tombait à 2 ohms environ.

Pour ramener le système à la résistance primitive, il suffisait de secouer un peu les fils.

En nettoyant les fils au papier d'émeri et en les enroulant de nouveau, la résistance était 2 ohms ; elle ne variait pas par les ondes électriques.

En mettant une couche très mince de gomme laque, la résistance R_0 a augmenté jusque vers 1 000 ohms ; par l'action de l'onde elle est tombée à 5 ohms. Avec d'autres métaux en fil, le nickel, le laiton, le fer, le cuivre, etc., toutes les fois que la couche d'oxyde ou de diélectrique était suffisamment mince on obtenait aussi une grande diminution de la résistance par l'action des ondes électriques.

Dans une autre série d'expériences, M. Hurmuzescu a employé le contact entre deux disques en laiton (10 cm de diamètre) enduits d'une couche très mince de gomme laque et pressés l'un contre l'autre. Pour une pression déterminée ce système est sensible à l'action des ondes électriques. Cette action très irrégulière au commencement finit par devenir plus uniforme dans la troisième période. Il suffit d'une petite secousse pour ramener la résistance à sa valeur initiale.

Influence du diélectrique. — Pour l'étude de l'influence des *diélectriques gazeux* M. Hurmuzescu a employé de préférence les cohéreurs à contact unique. En mettant le cohéreur sous une cloche dans laquelle on faisait le vide ou on introduisait un gaz quelconque, on n'observait absolument aucune différence entre les résultats.

Pourtant dans les cohéreurs à limaille, l'oxygène aide beaucoup à produire plus tôt l'état de fatigue de ces appareils. Cela doit tenir à l'oxydation plus énergique de la limaille par les étincelles qui prennent naissance entre les différents grains et dans l'atmosphère d'oxygène.

Pour l'étude de l'influence des *diélectriques liquides*, il mettait dans le cohéreur à globule de mercure et à électrodes en fer une goutte de glycérine ; les surfaces de contact se trouvaient bien séparées par le diélectrique employé.

En faisant agir les ondes, on a toujours observé d'abord une diminution de résistance, quelques fois une augmentation.

Avec un autre cohéreur à limaille de magnésium dans de la glycérine, l'action des ondes électriques a donné les mêmes résultats que précédemment.

En remplaçant la glycérine par de la benzine bien sèche on obtient la marche régulière du cohéreur c'est-à-dire que sa résistance diminue par les ondes électriques.

La variation en sens contraire paraît tenir de l'humidité ou à la présence de l'eau ; ainsi un cohéreur à électrodes de fer et à limaille de magnésium tenu au préalable dans un espace d'air très humide, présente une diminution de résistance par une première action des ondes et puis une augmentation par une action ultérieure.

Le même phénomène se manifeste avec une limaille de fer humide et oxydée.

Pour étudier l'action des *diélectriques solides*, M. Hurmuzescu a pris un cohéreur à globule de mercure et un autre à limaille d'aluminium, mais dont les électrodes étaient vernies à la gomme-laque.

Tant que la couche de vernis était épaisse (relativement) on n'obtenait aucun résultat ; mais lorsque cette couche était extrêmement mince, le cohéreur donnait les résultats ordinaires, c'est-à-dire que sa résistance diminuait par l'action des ondes.

L'auteur a également essayé un cohéreur à mélange de soufre en poudre et de limaille d'aluminium. Si la fleur de soufre n'était pas en trop grande quantité, le cohéreur marchait ; mais si la quantité de fleur de soufre était trop grande, on ne trouvait plus aucune variation de la résistance du cohéreur par l'action des ondes électriques même les plus intenses.

En emprisonnant la limaille dans du soufre par fusion et en laissant refroidir, on n'obtient de même aucune variation par les ondes. Un tel système peut devenir conducteur si l'on y fait passer la décharge d'une bouteille de Leyde. On obtient les mêmes phénomènes si à la place du soufre on emploie la paraffine.

Conclusions. — L'auteur résume les résultats de ces expériences de la manière suivante :

« 1. D'une manière générale les limailles métalliques deviennent bonnes conductrices de l'électricité sous l'action des ondes électriques.

» 2. Tous les cohéreurs présentent un minimum dans la valeur de leur résistance électrique par rapport au temps pendant lequel agit l'onde électrique.

» 3. Ce changement de résistance est permanent pour la plupart des systèmes. Il y a pourtant un certain nombre de cas où cette modification cesse en même temps que la cause qui lui a donné naissance. Tels sont les systèmes charbon-charbon, métal-charbon, fer-mercure, etc., ou les cohéreurs à décohération spontanée.

» 4. Mais tous ces systèmes perdent la propriété de la décohération spontanée par suite d'une faible oxydation ou d'une fatigue trop rapide du cohéreur en employant des ondes électriques trop intenses. Du reste, nous avons obtenu ces phénomènes d'autodécohération pour un grand nombre de systèmes, dans la première période, au commencement de chaque expérience.

» 5. Pour certains systèmes, tel que fer-manganèse, argent-manganèse, l'action des ondes diminue d'abord leur résistance; puis, en faisant agir de nouveau les ondes, on constate une augmentation de la résistance électrique du cohéreur. Ces systèmes se comportent donc, dans la première phase comme des cohéreurs ordinaires, dans la seconde phase comme des anticohéreurs.

» 6. Grand nombre de cohéreurs ordinaires, lorsque leurs surfaces de contact sont humides ou trempent dans un diélectrique contenant de l'eau, présentent les deux phases précédentes, c'est-à-dire que par une première action des ondes leur résistance diminue, pour augmenter vers sa valeur primitive par une action ultérieure. Suivant les différentes conditions, la première phase se trouve plus ou moins abrégée, elle peut même disparaître dans quelques-uns de ces systèmes. Dans ce dernier cas on a affaire à des anticohéreurs.

» 7. Tous les phénomènes dépendent d'une couche de passage, comprise entre les surfaces de contact. C'est dans cette couche qu'intervient le diélectrique de séparation, soit dans l'intervalle soit dans l'oxyde, soit par le gaz condensé aux surfaces mêmes.

» Nous allons voir maintenant si ces résultats nous permettent d'apporter un nouvel argument à l'appui d'une des théories existantes pour expliquer le fonctionnement des cohéreurs.

» Combien séduisante serait la théorie d'un changement allotropique. Il y aurait donc des

corps dont la résistance électrique changerait par les ondes électriques, de la même manière que d'autres, comme le sélénium, éprouvent une variation de leur résistance électrique sous l'influence des ondes lumineuses. Partant de là, il se trouvera un corps ou un système dont la modification citée puisse avoir lieu aussi bien sous l'action des ondes électriques, que sous celle des ondes lumineuses.

» Ce système à trouver formerait le pont de liaison entre les deux sortes de phénomènes.

» Malheureusement les expériences ne paraissent pas donner raison à cette hypothèse. En effet toutes les modifications éprouvées par les cohéreurs ont leur siège entre les surfaces de contact, dépendant au plus haut degré de la nature et de l'état de ces surfaces. Mais on peut tourner cette difficulté en admettant que les modifications allotropiques ont lieu justement dans une couche de passage comprise d'un côté et de l'autre du contact.

» Pour poursuivre plus loin la comparaison il faudrait encore expliquer la différence entre les modifications temporaires du sélénium par les ondes lumineuses et les modifications permanentes des cohéreurs proprement dits par les ondes électriques. Sans rien chercher à expliquer, la chose étant plutôt difficile, on se contente de constater que nous avons la même différence entre le magnétisme temporaire du fer doux et le magnétisme permanent de l'acier.

» Par cette analogie nous ne sommes pas plus avancés, car nous ne connaissons pas davantage le mécanisme intime des phénomènes magnétiques.

» Nos expériences nous conduisent à une autre manière d'envisager les choses.

» L'existence du minimum de variation de la résistance électrique des cohéreurs, par rapport au temps pendant lequel agit l'onde électrique, conduit à une explication commune pour les cohéreurs et pour les anticohéreurs.

» Pour les premiers l'action des ondes électriques serait seulement de diminuer la résistance jusque dans le voisinage du minimum. Ce minimum correspondrait, pour un système, à la cohération maximum, c'est-à-dire à la formation de chaînes entre tous les grains se trouvant suivant la direction du courant.

» Pour les seconds, ces chaînes métalliques une fois formées par les petites étincelles qui éclatent entre différents grains, se trouveraient interrompues par suite de l'introduction de nouvelles résistances dans la couche de passage, grâce aux oxydations dues aux étincelles mêmes. Ces oxydations dépendent de la nature de chaque métal et du diélectrique avec lequel il se trouve en contact.

» Si par la nature du métal et du diélectrique environnant l'oxydation des surfaces en regard, des grains, se produit très vite par les premières étincelles, la première phase du phénomène (la chute de résistance) peut nous échapper ; c'est le cas des anticohéreurs.

» En secouant un peu le cohéreur les surfaces en regard changent et nous pouvons recommencer les expériences.

» Dans les cohéreurs auto-décohérables les chaînes de liaison seraient dues plutôt à des étincelles électriques ou à des effluves et disparaîtraient en même temps que la cause qui les produit, c'est-à-dire les ondes électriques.

» Dans les cohéreurs permanents ces effluves d'étincelles produiraient des chaînes métalliques en soudant des petites particules entre les grains de limaille.

» Lorsque le diélectrique est solide ces effluves ne peuvent plus se produire que pour des variations très grandes du champ électrique. Il faut donc une décharge puissante pour déchirer le diélectrique et former cette chaîne. Un cohéreur à soufre fondu et solidifié ne devient conducteur qu'en y faisant passer la décharge d'une bouteille de Leyde ; mais il est insensible aux ondes électriques qui agissent sur les cohéreurs à diélectrique gazeux ou même liquide. »

ÉLECTROCHIMIE ET ÉLECTROMÉTALLURGIE

Sur la chaleur absorbée dans l'électrolyse des sels et le principe du travail maximum,

par **D. Tommasi**. Communiqué par l'auteur.

1. — On sait [1] que si l'on électrolyse une solution contenant une molécule d'azotate d'argent, 1, 2, 4, 8, 16, 32 molécules d'azotate de cuivre et 100 molécules d'eau, l'azotate de cuivre ne commence à être décomposé que lorsqu'il s'en trouve dans la solution un peu plus de 30 $(AzO^3)^2Cu$ pour 2 AzO^3Ag.

En continuant à augmenter la dose d'azotate

(1) Voir le *Traité d'Électrochimie*, par D. Tommasi, p. 25.

de cuivre, on finit par arriver à un terme où le dépôt renferme, pour un atome de cuivre, deux atomes d'argent.

Quand il se trouve dans la solution deux molécules d'azotate d'argent et 87 molécules d'azotate de cuivre, on obtient, comme produit de l'électrolyse, un atome d'argent et un atome de cuivre.

Or, d'après la loi de Sprague (1), qui est la réciproque du principe du travail maximum, ce serait l'azotate d'argent qui devrait se décomposer d'abord, et puis ensuite l'azotate de cuivre, puisque la chaleur de décomposition de ce composé (52,3 calories) (2) est bien supérieure à la chaleur de décomposition de la quantité équivalente d'azotate d'argent ($2AzO^3Ag = 17,2$ calories) (3) et cependant nous venons de voir que la composition du dépôt métallique variait suivant la proportion d'azotate de cuivre et d'azotate d'argent contenue dans la solution soumise à l'électrolyse.

II. — D'après les données thermiques, une solution de chlorate de potassium étant soumise à l'action simultanée de l'hydrogène et de l'oxygène électrolytiques devrait subir plutôt une réduction qu'une oxydation.

En effet, la réduction du chlorate dégage :



$ClO^3K + 3H^2 = ClK + 3H^2O$ . . . 224,4 calories.

et son oxydation dégage :



$ClO^3K + O = ClO^4K$. . . . . . . 17,6 calories.

Et, cependant l'expérience prouve que le chlorate se transforme en perchlorate (4).

III. — Si l'on acidule une solution de bioxyde d'hydrogène (H^2O^2) par l'acide sulfurique, on obtient au pôle négatif, un dégagement d'hydrogène dû à la décomposition de l'eau, mais la réduction du bioxyde d'hydrogène n'a pas lieu.

Or, comment peut-on expliquer que l'hydrogène électrolytique qui réduit cependant une foule de corps dont la décomposition absorbe de la chaleur, n'ait pas d'action sur le bioxyde d'hydrogène dont la décomposition, au contraire a lieu avec le dégagement de chaleur?

En d'autres termes, pourquoi le courant électrique décompose-t-il de préférence l'eau dont la chaleur de décomposition est de — 69 calories plutôt que d'agir sur le bioxyde d'hydrogène dont la chaleur de décomposition est de + 21,4 calories?

IV. — Nous avons constaté (1) un fait analogue avec le couple suivant :

Zinc, eau acidulée; vase poreux, bioxyde d'hydrogène additionné d'une goutte de solution de sulfate de cuivre, platine.

Dans ce couple, en effet, le dépôt de cuivre sur le platine se produit dès que le circuit est fermé et bien avant que le bioxyde d'hydrogène ait été décomposé.

On observe donc, dans ce cas, ce fait singulier que l'hydrogène provenant de la décomposition de l'eau, réduit de préférence le sulfate de cuivre (composé exothermique) dont la décomposition absorbe par conséquent de la chaleur, que le bioxyde d'hydrogène (composé endothermique) dont la décomposition a lieu au contraire avec dégagement de chaleur.

De l'ensemble de ces recherches, on peut déduire les lois suivantes :

1° *Lorsqu'un corps sera soumis à deux actions chimiques, la réaction qui dégagera la plus grande quantité de chaleur se produira toujours de préférence, pourvu toutefois qu'elle puisse être commencée ;*

2° *Entre deux réactions chimiques, celle qui exigera le moins de chaleur ou d'énergie pour commencer, se produira toujours de préférence, quand bien même elle dégagerait moins de chaleur que l'autre réaction.*

D'après ce que nous venons d'exposer il résulte que le principe du travail maximum est complètement faux et qu'il serait par conséquent à souhaiter qu'il fût remplacé par un nouveau principe de thermochimie plus conforme à l'expérience.

Ce nouveau principe de thermochimie, que nous proposons d'appeler *Principe du travail minimum*, pourrait s'énoncer ainsi :

La réaction chimique qui exigera le moins

(1) Les substances mises en liberté aux électrodes sont celles qui pour se dégager absorbent le moins d'énergie spécifique.

(2) et (3) Chaleurs de formation calculées d'après la loi des constantes thermiques de D. Tommasi.

(4) Voir le *Traité d'Électrochimie*, par D. Tommasi, p. 33.

(1) Voir le *Traité d'Électrochimie*, par D. Tommasi, p. 526.

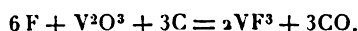
d'énergie (1) *pour être commencée, se produira de préférence, quelle que soit d'ailleurs la quantité de chaleur que cette réaction, une fois commencée pourrait dégager ou absorber.*

Procédé de fabrication électrolytique du vanadium et de ses alliages, par **Gustave Gin.** Communication faite au 5e Congrès international de Chimie, Berlin 1903.

« Le principe de mon procédé repose sur la grande conductibilité du trioxyde de vanadium et sur la facilité avec laquelle on obtient le trifluorure de vanadium en attaquant le trioxyde par le fluor en présence du carbone.

» Pour montrer comment on peut utiliser ces propriétés caractéristiques, supposons que l'on électrolyse du fluorure ferreux en solution dans le fluorure de calcium fondu en faisant usage d'une anode formée par un mélange intimement aggloméré de trioxyde de vanadium et de carbone, la cathode étant constituée par un bain de fer métallique.

» Le fluorure ferreux étant décomposé par le courant, le fluor dégagé au contact de l'anode attaque le trioxyde de vanadium qui cède son oxygène au carbone tandis qu'il se forme du trifluorure de vanadium suivant la réaction :



$$6F + V^2O^3 + 3C = 2VF^3 + 3CO.$$

» Le fluorure de vanadium formé entre en dissolution dans le fluorure de calcium et s'électrolyse à son tour



$$2VF^3 = \underset{-}{\boxed{2V}} + \underset{+}{\boxed{6F}}.$$

» Le vanadium mis en liberté se combine avec le fer métallique à la cathode ; le fluor libéré à l'anode forme une nouvelle quantité de fluorure de vanadium qui s'électrolyse de nouveau de telle sorte que le fluorure ferreux dont il a été question ne sert qu'à amorcer l'opération et à fournir le fluor qui sert de véhicule de transport pour faire passer le vanadium de l'anode à la cathode.

» Ceci exposé, je vais expliquer maintenant comment j'agis en pratique.

» Le trioxyde de vanadium préparé par calcination de l'acide vanadique en présence du carbone, est mélangé avec une proportion convenable de charbon de cornue et de brai pulvérisés, de manière à obtenir par malaxage à chaud une pâte homogène et plastique.

» Après agglomération dans un pétrin spécial chauffé extérieurement la pâte passe dans un moulin où elle est écrasée par des meules d'acier très pesantes. La pâte sortant du moulin est pilonnée, puis étirée par pression hydraulique au moyen d'un appareil à filière semblable à ceux qui sont usités pour la fabrication des électrodes en charbon. On obtient finalement des masses prismatiques ou cylindriques qui sont cuites à l'abri du contact de l'air dans des fours à haute température.

» Les électrodes ainsi fabriquées sont conservées, jusqu'à leur emploi, à l'abri de l'air et de l'humidité sous une couche de matière pulvérulente sèche.

» J'ai étudié la fabrication de ces électrodes avec le Dr Gans qui m'a procuré l'acide vanadique nécessaire à mes expériences.

» La résistivité spécifique de ces électrodes, mesurée au Laboratoire central d'électricité de Paris avec le concours de MM. Chaumat, Delon et Petitalot, a été trouvée égale à 13 700 microhms-centimètres à la température de 15° C. Les électrodes constituées comme il vient d'être dit paraissent pouvoir supporter une densité de courant égale au 7/10 de celle que l'on adopterait pour les électrodes en charbon de même section.

» L'anode de mon four est constituée par un faisceau d'électrodes obtenues comme il vient d'être dit ; la cathode est formée par un bloc d'acier. Certaines dispositions sont imposées par la haute température de fusion du vanadium et des alliages qui le contiennent en quantité notable.

» Pour les alliages à plus de 25 p. 100 de vanadium, la section cathodique doit être notablement inférieure à la surface active des anodes. On obtient un bon rendement et un bain suffisamment fluide avec une densité moyenne de 2 ampères par centimètre carré de section droite des anodes et de 6 ampères par centimètre carré de cathode, le voltage de régime étant compris entre 11 et 12 volts.

» Comme je l'ai dit au début, le fluorure ferreux introduit dans le bain au début de l'opération ne sert que pour amorcer l'électrolyse.

(1) Calorifique, lumineuse, électrique, etc.

Néanmoins, comme il se perd une certaine quantité de fluor transformé en tétrafluorure de carbone gazeux au contact du carbone en excès dans le mélange constituant l'anode, il convient, pour compenser cette perte d'ajouter au bain, de temps à autre une certaine proportion de ce fluorure ferreux.

» Le fer constituant le bain est introduit à l'état métallique et par petites quantités à la fois, après chaque coulée de ferro-vanadium. Si l'on n'introduit pas de fer dans le bain, on peut obtenir du vanadium à peu près pur, mais dont la coulée est extrêment pénible et que l'on doit extraire du four à l'état solide.

» Il est vraisemblable que mon procédé s'appliquera dans des conditions identiques à la fabrication industrielle des alliages du vanadium avec d'autres métaux tels que le cuivre, l'aluminium, le manganèse, etc... Il suffit de remplacer le bain cathodique de fer par un bain du métal qui doit intervenir dans l'alliage. »

DIVERS

Conductibilité et retard de polarisation diélectriques, par **F. Maccarrone**. *Il Nuovo Cimento*, t. IV, p. 313, novembre 1902.

L'auteur continuant ses recherches sur la polarisation diélectrique [1] a étudié l'influence de la durée du champ électrique. La méthode employée permet de suivre les variations des charges induites à la surface du diélectrique une faible fraction de seconde après qu'il a été soumis à un champ électrique.

A cet effet, M. Maccarrone a eu recours au phénomène connu de l'orientation d'une aiguille diélectrique suspendue en son milieu dans un champ électrique [2]. Le diélectrique est employé sous la forme d'un cylindre de section elliptique avec axe vertical et suspendu entre les armatures verticales d'un condensateur à air qui peuvent être rapidement mises en communication avec les pôles d'une batterie d'accumulateurs. Lorsque l'on établit le champ, le cylindre tourne autour de son axe et tend à se placer de façon à offrir la plus petite section au flux de force électrique.

Le moment de rotation du cylindre est maximum quand l'axe de sa section droite fait un angle de 45° avec les armatures et on peut le considérer comme proportionnel à la polarisation de l'isolant. En réalité le cylindre n'atteint sa nouvelle position d'équilibre qu'après une très longue suite d'oscillations. Le coefficient d'amortissement du système mobile était négligeable dans les expériences de l'auteur ; il était par suite facile d'éliminer l'effet des forces d'inertie, en suivant sans interruption les mouvements du système. Dans ce but, un petit miroir relié rigidement à l'aiguille reçoit un faisceau lumineux qu'il réfléchit sur une pellicule photographique se déroulant.

L'auteur appelle *déviation corrigée* celle qui correspondrait à la déviation vraie, si, toutes les autres conditions restant les mêmes, les forces d'inertie étaient nulles. La polarisation peut être considérée à tout instant comme proportionnelle à cette déviation corrigée.

Le graphique 1 est relatif au verre. La ligne AB représente la position de repos du faisceau

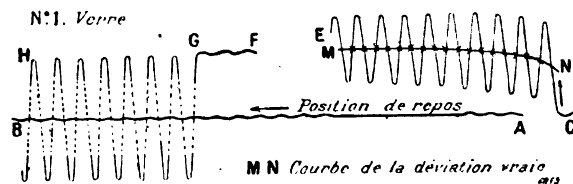


Fig. 1.

lumineux pour un tour complet du tambour qui porte la pellicule. Les petites sinuosités qu'elle présente proviennent des trépidations auxquelles était soumis le pavillon où les expériences ont été exécutées ; elles sont sans influence appréciable sur les résultats.

La sinusoïde CE représente le mouvement du dielectrique après la charge du condensateur. L'amplitude des oscillations va en diminuant ; en interrompant l'enregistrement photographique pendant dix minutes, on observe ensuite que l'amplitude est réduite à zéro comme il résulte du trait FG. Coupant ensuite les communications avec le condensateur, on a la sinusoïde GH qui représente le mouvement du cylindre lorsqu'il n'est pas soumis au champ. Les déviations corrigées sont représentées sur le graphique par une croix ; la courbe correspondante NM s'élève très

(1) Maccarrone. *Il Nuovo Cimento*, t. II, août 1901 ; *L'Éclairage Électrique*, t. XXXI, p. CXLIV.

(2) Matteucci. *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 134, 1859.

rapidement au début, puis tend asymptotiquement vers une droite parallèle à AB.

La polarisation du verre part donc d'une valeur déterminée qu'elle prend presque instantanément quand le champ est créé, ensuite elle augmente lentement en tendant asymptotiquement vers une valeur limite.

Le trait FG est légèrement plus voisin de l'axe que l'extrémité M de la courbe des déviations corrigées. Ce fait est dû à la convection électrique. Il y a un transport lent d'électricité des armatures sur le diélectrique mobile, ce qui a pour effet de neutraliser une partie des charges induites et de diminuer la déviation. L'auteur a contrôlé cette hypothèse en opérant avec un cylindre de verre argenté ; les charges induites prennent instantanément leurs valeurs définitives et, s'il n'y avait pas convection, la déviation devrait rester rigoureusement constante. L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi (fig. 2,

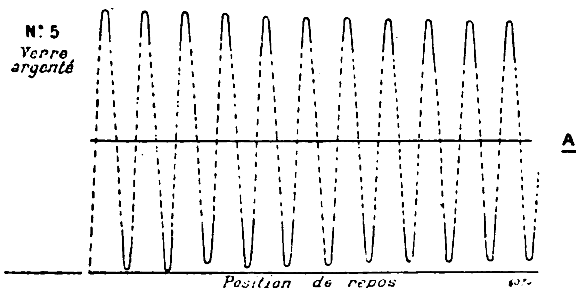


Fig. 2.

graphique 5) ; le trait A correspondant à la position de repos au bout de quelques minutes est en effet nettement au-dessous de la ligne moyenne primitive. Mais la diminution de la déviation est très faible, 0,5 p. 100 par minute. Elle est donc négligeable dans les expériences qui ne durent pas plus de 10 secondes.

Avec la paraffine, dont la constante diélectrique est faible, il a été nécessaire d'augmenter la sensibilité du système. Mais la courbe ne présente pas d'augmentation initiale, elle prend dès le début sa valeur limite et l'aspect est le même que celui obtenu avec le verre argenté.

Le soufre se comporte comme le verre, mais l'élévation de la courbe est plus lente ; au bout de 6 minutes la déviation corrigée est devenue plus du double de la déviation initiale. L'ébonite et la paraffine à 10 p. 100 de fer porphyrisé présentent le même phénomène. La courbe 3 (graphique 13) relative à l'ébonite montre les positions successives du rayon lumineux réfléchi lorsque l'on interrompt l'enregistreur photographique pour le rétablir après un tour complet du tambour qui porte la pellicule soit de minute en minute.

L'auteur donne l'explication suivante des phénomènes observés :

A l'intérieur du diélectrique, toute variation dans l'intensité de la polarisation est contemporaine d'un mouvement d'électricité. La loi d'Ohm

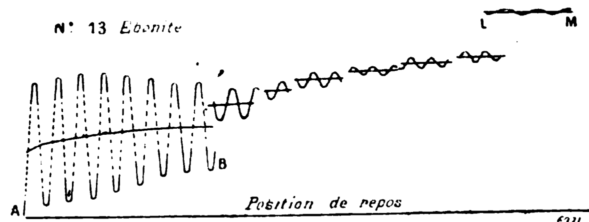


Fig. 3.

n'est pas forcément applicable à ce déplacement ; le courant n'est pas proportionnel à la force électromotrice.

Supposons que le courant soit une fonction quelconque de la force électromotrice, développons cette fonction en série. En considérant seulement les deux premiers termes, on obtient une formule qui est en accord avec les expériences et explique tous les phénomènes connus sur le retard de polarisation diélectrique.

Soit u la densité du courant et ξ, la force électrique en un point, on posera donc

$$u = a + b\xi,$$

u et ξ varient avec le temps, tandis que a et b ne sont fonctions que de la différence de potentiel fixe à laquelle est soumis le diélectrique. On sait en outre que

$$u = \frac{d\alpha}{dt}$$

α étant la polarisation.

Soit X la valeur que la force électrique aurait si le diélectrique était inactif, s'il ne se formait pas de couches induites à sa surface. Ces couches produisent à l'intérieur de l'isolant un champ opposé à X ; ce champ, proportionnel à la polarisation α, peut être représenté par $m\,\alpha$, m étant

un coefficient qui ne dépend que de la forme géométrique du diélectrique. On a donc

$$\xi = X - m\alpha.$$

D'où :

$$\alpha = A + B10^{-ct}$$

en posant :

$$A = \frac{a + bX}{bm},$$

A représentant la polarisation définitive.

Il est facile de vérifier que, inversement, si la polarisation d'un diélectrique suit la loi

$$\alpha = A + B10^{-ct},$$

les variations de la polarisation peuvent être attribuées à un courant u lié à la force électromotrice ξ par une relation du type

$$u = a + b\xi.$$

L'auteur examine comment ces constantes dépendent des conditions expérimentales et en particulier de la différence de potentiel.

La polarisation définitive est proportionnelle au champ polarisant, donc

$$A = kX,$$

k étant une constante qui dépend de la nature de la substance.

On a donc

$$kX = \frac{a + bX}{m},$$

par suite a est proportionnel à X et b en est indépendant.

La relation qui lie le courant u et la force électromotrice à l'intérieur d'un isolant imparfait est donc de la forme

$$u = a'X + b\xi$$

où X représente le champ externe, a et b sont deux constantes dépendant de la nature du diélectrique, ξ est le champ résultant de X et de celui dû aux charges induites superficielles.

Pour $a' = 0$ on retrouve le cas de la conductibilité ordinaire.

Dans le cas où X est une fonction de t, il faut ajouter au courant de conduction u le courant de déplacement instantané.

$$u' = \frac{\varepsilon}{4\pi} \frac{d\xi}{dt},$$

où ε est la constante diélectrique pour des champs rapidement alternés.

Le calcul montre que tout se passe comme si chaque impulsion élémentaire due à un champ externe de petite durée $\Delta t'$ et correspondant au temps t' laissait une contribution propre $Q \times \Delta t'$ qui s'évanouît lentement et asymptotiquement comme l'expression

$$e^{-\varepsilon(t-t')}$$

c'est-à-dire s'évanouît lentement avec le temps $t - t'$ écoulé depuis le moment de l'impulsion.

L'hypothèse de Maccarrone explique ainsi la propriété des diélectriques qui dans ces derniers temps a été désignée sous le nom d'hystérésis visqueuse ou viscosité diélectrique.

Dans le cas d'un champ électrostatique sinusoïdal, la polarisation prend après un temps plus ou moins court une marche sinusoïdale de même fréquence, mais elle présente relativement au champ un certain déplacement de phase.

L'auteur décrit des expériences qui confirment les résultats précédents.

En résumé :

D'une manière générale la polarisation croît avec la durée du champ; la paraffine très pure fait exception, sa polarisation est indépendante de la durée.

Pour des champs constants la dépendance entre la polarisation p et le temps t suit la loi

$$p = A - B10^{-ct}$$

où A, B et c sont des constantes dépendant de la forme et de la nature du diélectrique, A et B étant en outre proportionnels au champ.

Tous les phénomènes de retard de polarisation dans les champs variables et de rotations électrostatiques se déduisent de la formule précédente et de la formule équivalente.

$$u = \lambda X = \rho\alpha,$$

λ et ρ étant deux constantes dépendant de la nature et de la forme du diélectrique, X la force électromotrice externe, α la polarisation et u la densité du courant.

G. G.

SOCIÉTÉS SAVANTES ET TECHNIQUES

ACADÉMIE DES SCIENCES

Séance du 25 mai 1903.

Sur de nouvelles sources de radiations susceptibles de traverser les métaux, le bois, etc., et sur de nouvelles actions produites par ces radiations, par **R. Blondlot**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1227-1229.

En recherchant si des radiations analogues à celles dont il signalait récemment l'existence dans l'émission d'un bec Auer [1] ne se rencontreraient pas aussi dans celles d'autres sources de lumière et de chaleur, M. Blondlot a constaté les faits suivants :

La flamme d'un bec de gaz annulaire émet de ces radiations; il convient toutefois d'enlever la cheminée, à cause de l'absorption du verre. Un bec Bunsen n'en produit pas sensiblement. Une feuille de tôle, une lame d'argent chauffée au rouge naissant à l'aide d'un bec Bunsen placé par derrière en fournissent à peu près autant que le bec Auer.

Une lame d'argent polie fut disposée de façon que son plan fît un angle de 45° avec le plan horizontal. Cette lame ayant été portée au rouge cerise à l'aide d'un bec Bunsen, sa face supérieure émettait des rayons analogues à ceux du bec Auer : un faisceau horizontal de ces radiations, après avoir traversé deux feuilles d'aluminium d'une épaisseur totale de 0,3 mm, des feuilles de papier noir, etc., était concentré par une lentille de quartz; à l'aide de la petite étincelle, on constatait l'existence de quatre régions focales. On constata, en outre, que l'action sur l'étincelle était beaucoup plus grande quand celle-ci était orientée verticalement, c'est-à-dire dans le plan d'émission, que lorsqu'elle était normale à ce plan : les nouvelles radiations émises par la lame polie sont donc polarisées comme le sont la lumière et la chaleur qu'elle émet en même temps. La lame d'argent ayant été recouverte de noir de fumée, l'intensité de l'émission augmenta, mais la polarisation disparut.

Ce qui précède conduit à penser que l'émission de radiations susceptibles de traverser les métaux, etc., est un phénomène extrêmement général. Observé d'abord dans l'émission d'un tube focus, il s'est aussi rencontré dans celle des sources ordinaires de lumière et de chaleur. Afin d'abréger le langage, M. Blondlot désigne ces radiations par le nom de *rayons* N [1]. Ces rayons N comprennent d'ailleurs une très grande variété de radiations : tandis, en effet, que celles qui proviennent d'un bec Auer ont des indices plus grands que 2 [2], il en est, parmi celles qu'émet un tube de Crookes, dont l'indice est inférieur à 1,52, car si l'on fait tomber un faisceau de ces rayons sur un prisme équilatéral en quartz, parallèlement aux arêtes et normalement à l'une des faces, on obtient un faisceau émergent très étalé.

Jusqu'ici, M. Blondlot décelait la présence de rayons N par leur action sur une petite étincelle. Il s'est demandé si cette étincelle devait être envisagée ici comme un phénomène électrique, ou seulement comme produisant l'incandescence d'une petite masse gazeuse. Si cette dernière supposition était exacte, on pouvait remplacer l'étincelle par une flamme. Il a alors produit une toute petite flamme de gaz à l'extrémité d'un tube de métal percé d'un orifice très fin; cette flamme était entièrement bleue. Il a constaté qu'elle peut, comme la petite étincelle, servir à déceler la présence des rayons N : comme celle-ci, quand elle reçoit ces rayons, elle devient plus lumineuse et plus blanche. Les variations de son éclat permettent de trouver quatre foyers dans un faisceau ayant

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 735, 11 mai 1903. *Écl. Élect.*, t. XXXV, p. 356.

[1] Du nom de la ville de Nancy : c'est à l'Université de Nancy que ces recherches ont été faites.

[2] Au sujet de l'indice de ces rayons, voir le compte rendu de la communication de M. Sagnac à la dernière séance de la Société de Physique (t. XXXV, p. 430).

traversé une lentille de quartz; ces foyers sont les mêmes que ceux que montre la petite étincelle. La petite flamme se comporte donc vis-à-vis des rayons N tout comme l'étincelle, sauf qu'elle ne permet pas de constater leur état de polarisation.

Afin d'étudier plus aisément les variations d'éclat, tant de la flamme que de l'étincelle, M. Blondlot les examine à travers un verre dépoli fixé à environ 25 mm ou 30 mm de celles-ci: on a ainsi, au lieu d'un point brillant très petit, une tache lumineuse d'environ 2 cm de diamètre, d'un éclat beaucoup moindre, et dont l'œil apprécie mieux les variations (1).

Tout récemment, M. Blondlot a constaté un autre effet des rayons N. Ces rayons sont incapables d'exciter la phosphorescence dans les corps susceptibles d'acquérir cette propriété par l'action de la lumière; mais lorsqu'un tel corps, du sulfure de calcium par exemple, a préalablement été rendu phosphorescent par l'insolation, si on vient à l'exposer aux rayons N, en particulier à l'un des foyers produits par une lentille de quartz, on voit l'éclat de la phosphorescence augmenter notablement; ni la production, ni la cessation de cet effet ne semblent absolument instantanées. C'est parmi les actions qui produisent les rayons N la plus facile à constater; l'expérience est très aisée à installer et à répéter. Cette propriété des rayons *n* est analogue à celle des rayons rouges et infrarouges qui a été découverte par Edmond Becquerel; elle est analogue aussi à l'action de la chaleur sur la phosphorescence; toutefois, M. Blondlot n'a pas constaté jusqu'ici l'épuisement plus rapide de la capacité phosphorescente sous l'action des rayons N.

La parenté des rayons N avec les radiations connues de grandes longueurs d'onde semble certaine, ajoute M. Blondlot. Comme, d'autre part, la faculté qu'ont ces rayons de traverser les métaux les différencie de tous ceux qui sont connus, il est très probable qu'ils sont compris dans les cinq octaves de la série de radiations qui restent inexplorées entre les rayons de Rubens et les ondulations électromagnétiques à très courtes longueurs d'onde; c'est ce que l'auteur se propose de vérifier.

(1) M. Blondlot fait remarquer que l'action d'un corps incandescent sur une flamme, ou celle d'une flamme sur une autre, est certainement un phénomène courant; si jusqu'ici il était resté inaperçu, c'est parce que la lumière de la source empêchait de constater les variations d'éclat de la flamme réceptrice.

Sur les ondes hertziennes en télégraphie sans fil, par **G. Ferrié**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1248-1253.

Lorsque des oscillations sont produites dans une antenne simple, en employant le montage *à étincelle directe*, on a reconnu depuis longtemps que l'antenne vibrait en quart d'onde. Mais la longueur d'onde du mouvement vibratoire produit dépend des éléments électriques des conducteurs suivant lesquels se propage ce mouvement. Il est donc nécessaire de choisir un conducteur placé dans des conditions bien déterminées pour lui rapporter les mouvements vibratoires étudiés; M. Ferrié a employé dans ce but un câble formé de sept brins de cuivre de 0,4 mm recouvert de gutta et tendu horizontalement à 1 m au-dessus du sol; le câble était d'ailleurs semblable à celui qui servait à constituer les antennes.

Pour mesurer la longueur d'onde des oscillations produites dans une antenne de forme et de hauteur quelconques, il suffit de relier à l'antenne, en un point compris entre l'oscillateur et la terre, une des extrémités du fil horizontal dont il est question ci-dessus, l'autre extrémité de celui-ci étant parfaitement isolée. On intercale, en outre, un ampèremètre thermique dans ce fil, au voisinage de la connexion avec l'antenne. Ce fil prend part au mouvement vibratoire, et les oscillations qui s'y développent sont maximum lorsque l'antenne et le fil sont à l'unisson : en allongeant progressivement celui-ci, on voit croître graduellement le débit marqué par l'instrument de mesure, avec un maximum très net pour une longueur bien déterminée, puis décroître jusqu'à une valeur voisine de 0, puis augmenter de nouveau, et ainsi de suite. Les maximum et minimum sont régulièrement espacés, et la différence des longueurs correspondant à deux concamérations successives représente $\frac{1}{4}$ de longueur d'onde. Le plus grand des maximums est le premier, c'est-à-dire celui qui est obtenu avec une longueur de fil, comptée à partir de la prise de terre, égale à $\frac{1}{4}$ d'onde.

Le tableau suivant donne, comme exemples, quelques longueurs d'onde obtenues avec des antennes de forme variable mais symétriques, et d'une longueur de 25 m et 12,50 m, non compris le fil unique (9 m) reliant l'antenne proprement dite à l'oscillateur et celui-ci à la terre [1].

Longueurs		$\frac{\lambda}{4}$ mesuré pour l'antenne totale	LC (unités C. G. S.) déduit de $\frac{\lambda}{4}$	C (unités C. G. S.) mesuré pour l'antenne totale	L (unités C. G. S.) déduit pour l'antenne totale
Antenne totale jusqu'au sol	Antenne proprement dite				
m	m	m			
21,50	12,50 (fil unique)	20,00	18×10^{-16}	15×10^{-20}	$1,1 \times 10^{-4}$
34,00	25,00 id.	30,50	42×10^{-16}	24×10^{-20}	$1,8 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 (2 fils à 0m,50)	23,00	24×10^{-16}	20×10^{-20}	$1,2 \times 10^{-4}$
34,00	25,00 id,	33,50	$50,5 \times 10^{-16}$	$29,5 \times 10^{-20}$	$1,7 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 (5 fils à 0m50. même plan)	25,00	28×10^{-16}	$22,5 \times 10^{-20}$	$1,2 \times 10^{-4}$
34,00	25,00 id	35,00	55×10^{-16}	$34,5 \times 10^{-20}$	$1,6 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 id	27,50	34×10^{-16}	28×10^{-20}	$1,2 \times 10^{-4}$
34,00	25,00 id	39,50	70×10^{-16}	44×10^{-20}	$1,6 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 (2 fils à 1m)	23,50	25×10^{-16}	20×10^{-20}	$1,2 \times 10^{-4}$
34,00	25.00 id.	34,00	52×10^{-16}	$31,5 \times 10^{-20}$	$1,6 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 (3 fils à 1m même plan)	26,00	30×10^{-16}	25×10^{-20}	$1,2 \times 10^{-4}$
34,00	25,00 id	36,50	60×10^{-16}	$37,5 \times 10^{-20}$	$1,6 \times 10^{-4}$
21,50	12,50 (2 fils à 2m)	24,00	26×10^{-16}	$22,5 \times 10^{-20}$	$1,1 \times 10^{-4}$
24,00	25,00 id	35,00	55×10^{-16}	34×10^{-20}	$1,6 \times 10^{-4}$
9	supprimée	9,00	$3,5 \times 10^{-16}$	7×10^{-20}	$0,5 \times 10^{-4}$

On voit par ce tableau que la longueur d'onde et la capacité augmentent avec la longueur de l'antenne, le nombre et l'écartement des fils qui constituent l'antenne proprement dite. De plus la self-induction reste à peu près constante pour une longueur donnée d'antenne quelle que soit sa forme, avec cependant une tendance à diminuer quand l'écartement des fils augmente.

La différence constatée entre la longueur d'onde mesurée pour une antenne à un seul fil et la longueur de ce fil provient de la différence de capacité entre l'antenne et le fil horizontal. Ce fait est mis en évidence en plaçant l'antenne horizontalement dans une direction opposée au fil témoin : on trouve que le maximum de débit du thermique, correspond à l'égalité des deux fils.

On peut aussi mesurer l'intensité des oscillations dans le fil qui relie l'oscillateur à la terre, en plaçant l'ampèremètre thermique en dérivation sur deux points de ce fil. On constate alors qu'avec les antennes ci-dessus, une bobine de 30 cm donnant 3 cm d'étincelles et une consommation moyenne de 100 watts, le thermique indique des intensités de 1 à 3 ampères efficaces (en tenant compte du coefficient dû au shuntage). Cette intensité augmente nettement avec le nombre et l'écartement des fils.

Accord d'une antenne donnée sur une période déterminée. — Lorsqu'on excite une antenne au moyen d'un transformateur Tesla, genre d'Arsonval par exemple, on remarque en appliquant la méthode indiquée plus haut que la longueur d'onde du mouvement vibratoire communiqué à l'antenne est constante quel que soit le nombre des spires du secondaire du Tesla. Cette période est évidemment celle du circuit excitateur. Mais les oscillations de l'antenne ont un maximum d'énergie lorsque les spires du secondaire sont en nombre tel que l'ensemble de l'antenne et des spires représente un quart d'onde du mouvement vibratoire excitateur.

Pour trouver cet accord il suffit de mettre un thermique en dérivation sur deux points de l'antenne au voisinage de la prise de terre [2].

On remarque alors qu'en ajoutant une à une des spires indépendantes le thermique indique un maximum très net pour un nombre de spires déterminé. Ce maximum correspond à l'accord. Mais si l'on est conduit à augmenter beaucoup

(1) Les mesures de capacité indiquées dans ce tableau ont été faites par la méthode du pont avec téléphone et condensateur étalon. M. Ferrié a aussi employé, dans d'autres cas, l'oscillographe Blondel, qui permet de mesurer sur une plaque photographique la période de l'onde qui correspond à la self de la bobine d'induction et à la capacité de l'antenne.

(2) Les résultats obtenus par ce moyen ont été souvent contrôlés au moyen des indications d'un micromètre à étincelles placé au sommet de l'antenne.

le nombre de spires, on varie notablement la self-induction et l'induction mutuelle, l'intensité maximum mesurée diminue, et l'accord peut passer inaperçu. Il est préférable dans ce cas d'agir sur la capacité du circuit excitateur de manière à obtenir le maximum de débit pour un nombre de spires compris entre 2 et 5.

Electrolyse du sulfure de baryum avec diaphragme, par **André Brochet** et **Georges Ranson.** *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1258-1260.

Dans une note précédente [1], les auteurs ont montré comment se comporte l'électrolyse d'une solution concentrée de sulfure de baryum sans diaphragme. Si l'on fait usage d'une cloison poreuse, la réaction primaire est la même, c'est-à-dire que l'on obtient du soufre et par conséquent des polysulfures à l'anode, du baryum et par conséquent de la baryte et de l'hydrogène à la cathode. En raison de ce diaphragme, il n'y aura pas réduction des polysulfures. D'autre part, la baryte qui diffuse dans le compartiment anodique étant, dans les conditions de l'opération, sans action sur les polysulfures très solubles, s'en séparera par refroidissement et pourra en conséquence être récupérée. Son rendement sera de ce fait sensiblement théorique.

Remarques et conclusions. — Les remarques faites au sujet de l'électrolyse du sulfure de baryum sans diaphragme s'appliquent également au cas présent.

L'addition de chlorure de baryum ou d'un chlorure alcalin soit dans un compartiment, soit dans les deux, ne modifie pas la marche générale de l'opération. Dans le compartiment cathodique le sulfure peut être remplacé par le chlorure ; il peut l'être également par une solution de baryte ou par les eaux mères d'une opération précédente.

Le chlorure présente l'inconvénient de ne pas permettre l'emploi du fer comme anode. L'usage de baryte comme liquide cathodique explique dans une certaine mesure, le passage de cette base dans le compartiment anodique, mais cela n'est pas un inconvénient puisque l'on peut facilement la séparer des polysulfures très solubles. On n'a donc aucun avantage à employer le sulfure de baryum, difficile au contraire à séparer de la baryte, la solubilité des deux produits étant du même ordre de grandeur.

Quant à la solution de polysulfures, on peut l'utiliser pour en extraire le baryum, à l'état de sels, et le soufre, soit au moyen de la solution elle-même, soit au mieux en saturant à chaud de sulfure de baryum ; les polysulfures insolubles, dans ces conditions, précipitent au fond de l'appareil. La solution anodique se trouve ainsi régénérée et a retrouvé sa couleur primitive jaune clair devenue plus foncée du fait de la formation des polysulfures.

Il résulte de ces recherches que l'électrolyse du sulfure de baryum offre un procédé simple de fabrication de la baryte hydratée, présentant, à côté de l'avantage de n'exiger qu'une très faible dépense d'énergie, celui de partir d'un produit dérivant directement du sulfate de baryum et constituant la matière première par laquelle on passe généralement pour la fabrication des sels de baryum.

Séparation électrolytique : 1° du manganèse d'avec le fer; 2° de l'aluminium d'avec le fer ou le nickel; 3° du zinc d'avec le fer, par **Hollard** et **Bertiaux**. *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1266-1268.

1° *Séparation du fer et du manganèse.* — La séparation du manganèse d'avec le fer, qui est si difficile par l'analyse gravimétrique, paraît très simple, au contraire, par voie électrolytique. Il semble, en effet, qu'on puisse aisément précipiter à la fois le manganèse à l'état de peroxyde sur l'anode et le fer sur la cathode. En réalité le peroxyde de manganèse entraîne avec lui à l'anode une partie du fer dans un état d'oxydation probablement très élevé.

MM. Hollard et Bertiaux ont réussi à éviter cet entraînement du fer et à rendre la séparation électrolytique aussi simple que rigoureuse par l'addition d'*acide sulfureux* à la solution de fer et de manganèse. Cette solution, qui contient les métaux à l'état de sulfates, contient en outre du citrate d'ammoniaque, du sulfate d'ammoniaque et un léger excès d'ammoniaque [1].

---

[1] *Comptes rendus*, t. CXXXVI, p. 1195. *Ecl. Élect.* t. XXXV, p. 439.

[1] La solution des sulfates de fer et de manganèse qui peut contenir quelques gouttes de SO^4H^2 libre est additionnée de 5g d'acide citrique, de 25 cm³ à 50 cm³ (suivant la quantité de fer) d'une solution saturée de SO^2, de 25 cm³

L'action réductrice de l'acide sulfureux agit d'une part pour retarder la formation du peroxyde de manganèse à l'anode et d'autre part pour accélérer la précipitation du fer sur la cathode ; en effet, l'équivalent électrochimique du fer dans les sels ferreux est supérieur à celui qu'il possède dans les sels ferriques et, de plus, en l'absence de ce dernier, le dépôt cathodique ne tend plus à se redissoudre dans le bain [1].

d'ammoniaque à 22° B. ; on revient à la neutralité par addition de SO^4H^2. Enfin on alcalinise avec quelques centimètres cubes d'ammoniaque.

[1] On dépose le fer sur une cathode à grande surface (toile de platine); l'anode correspondante présente au contraire peu de surface (spirale de platine) (voir leurs descriptions : *Bull. Soc. chim.* t. XXIX, 1903, p. 162). L'électrolyse se fait à la température de 48° avec un courant de 1 ampère, le volume de la solution ayant été porté à 300 dcm3.

» Avec une proportion convenable d'acide sulfureux, le fer se dépose complètement sur la cathode avant l'arrivée du peroxyde de manganèse à l'anode. On le dissout dans de l'acide sulfurique au 1/5 qu'on fait bouillir, on laisse refroidir dans un courant de CO^2 et on dose au permanganate.

» Pour précipiter le manganèse, on électrolyse le bain débarrassé de fer avec une anode à grande surface (toile de platine) et une cathode à petite surface (la spirale même qui a servi d'anode à l'électrolyse du fer et qui a pu commencer à se recouvrir de peroxyde de manganèse). La température du bain doit être de 90°-95° pendant le cours de l'électrolyse et le courant de 1 ampère. L'excès de SO^2 ne tarde pas à être oxydé grâce à l'apport de l'oxygène anodique et le manganèse apparaît alors sous forme de peroxyde. Au bout de quelques heures, le manganèse est complètement déposé. On retire alors l'anode en interrompant le courant après avoir rendu le bain légèrement ammoniacal. On ne peut pas peser l'anode, car, d'une part, à la dessiccation, son poids varierait constamment, d'autre part, le peroxyde de maganèse n'adhérant pas fortement à la toile de platine, une partie du manganèse peut tomber au fond du verre, surtout si la quantité de manganèse à séparer est importante ; enfin, nous avons constaté que le peroxyde de manganèse anodique contient des superoxydes. Aussi nous dosons le peroxyde de manganèse volumétriquement après avoir fait passer les superoxydes à l'état de MnO^2. Ces superoxydes disparaissent par le simple séjour d'une demi-heure environ du peroxyde de manganèse dans le bain, après qu'on a supprimé le courant et retiré la cathode. Avant d'enlever le courant, il faut avoir bien soin de s'assurer que le bain contient encore un excès d'ammoniaque, sinon, il convient d'ajouter l'ammoniaque nécessaire.

» Le dosage volumétrique de MnO^2, s'effectue de la façon suivante : on introduit la toile recouverte de MnO^2 et lavée à l'eau bouillante dans une éprouvette aussi étroite que possible (et bouchée à l'émeri). On filtre le MnO^2 tombé au fond du verre sur de l'amiante (préalablement calciné et lavé avec HCl étendu). On lave MnO^2, puis on l'introduit avec son amiante dans l'éprouvette. On verse alors dans le même récipient 50 cm³ de HCl $d = 1,035$), 5 cm³ de IK à 60 p. 100 et de l'eau jusqu'à ce que la toile soit recouverte ; enfin on verse 5 cm³ de CS^2, on bouche l'éprouvette, on l'agite et on laisse reposer 30 minutes. Le chlore dégagé par MnO^2 libère l'iode qui se dissout dans CS^2 ; on le titre à l'hyposulfite. Ce réactif est ajouté jusqu'à ce que le sulfure de carbone ne soit plus coloré en rose. La dissolution de l'iode dans CS^2 est indispensable pour que la réaction soit complète. »

2° *Séparation du fer et de l'aluminium.* — L'emploi de SO^2 nous a été d'un grand secours pour la séparation électrolytique du fer d'avec l'aluminium. Les métaux, à l'état de sulfates, additionnés de citrate d'ammoniaque et de SO^2, sont électrolysés dans les mêmes conditions que pour la séparation du fer d'avec le manganèse. SO^2 a pour effet d'empêcher : d'une part, la précipitation, au cours de l'électrolyse, de l'alumine qui pourrait entraîner du fer, d'autre part, la précipitation du fer à l'état de sels basiques au cours de l'électrolyse.

3° *Séparation du fer et du zinc.* — L'emploi de SO^2 nous a encore permis de séparer le zinc d'avec le fer en faisant passer ce métal à l'état de ferrocyanure de potassium. A cet effet, dans la solution de fer et zinc, à l'état de sulfates, additionnée de SO^2 (25 cm³ à 50 cm³ suivant la quantité de fer) et rendue presque neutre par addition de soude, on introduit 15 cm³ de cyanure de potassium à 20 p. 100, puis 50 cm³ de soude à 15° B. On étend à 300 cm³, on électrolyse à froid avec un courant de 0,3 ampère. Le zinc se dépose alors seul [2].

[1] Comparez : A. Hollard ; Sur l'existence des superoxydes électrolytiques de plomb, de nickel et de bismuth. *Comptes rendus*, 26 janvier 1903. *Ecl. élect.*, t. XXXIV.

[2] A la vérité, il se dépose avec le zinc 2 mg à 3 mg de fer dosable au permanganate.

Le Gérant : C NAUD.

TABLE MÉTHODIQUE DES MATIÈRES [1]

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

Théories et Généralités.

Conducteurs, Électrolytes et Diélectriques.

Décharge électrique.

[1] Les titres des matières publiées dans la *Littérature des Périodiques et des Brevets* sont suivis des indications (*p*) ou (*b*); les analyses publiées dans la *Bibliographie* sont indiquées par un (B).

Oscillations hertziennes.

Rayons cathodiques, Rayons Rœntgen, Rayons Becquerel, etc.

Magnétisme.

Sources d'électricité.

Électricité atmosphérique et Magnétisme terrestre.

Electrocapillarité et Thermomagnétisme.

Électro et Magnéto-optique.

APPLICATIONS

Génération et Transformation de l'énergie électrique.

Transmission et Distribution.

Applications mécaniques.

Traction et Propulsion.

Télégraphie et Téléphonie.

Applications thermiques.

Éclairage électrique.

Électrochimie et Électrométallurgie.

MESURES

DIVERS

Sociétés savantes, techniques et industrielles.

Expositions, Congrès, Laboratoires.

Bibliographie.

Divers.

TABLE DES NOMS D'AUTEURS

C

D

E

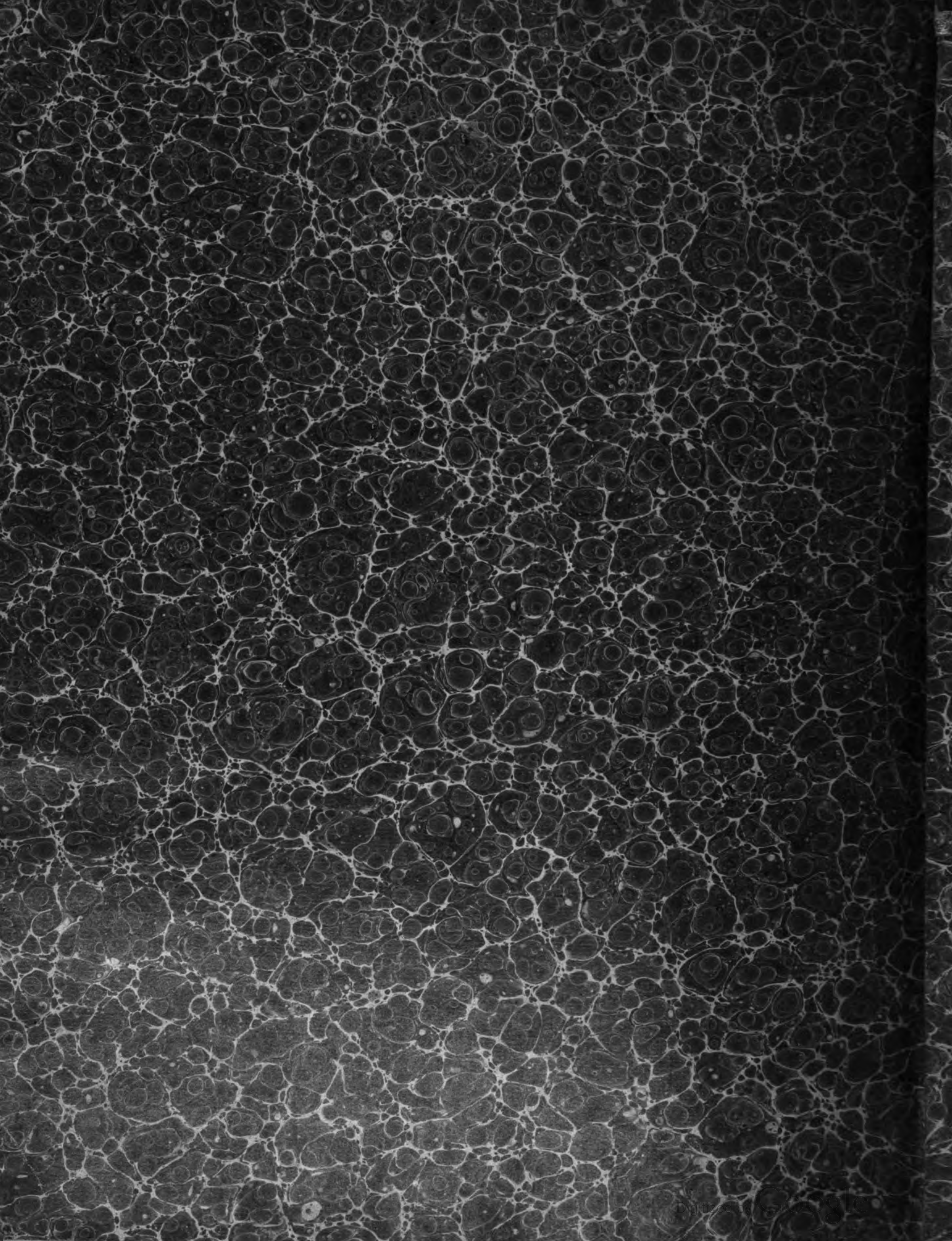
F

G

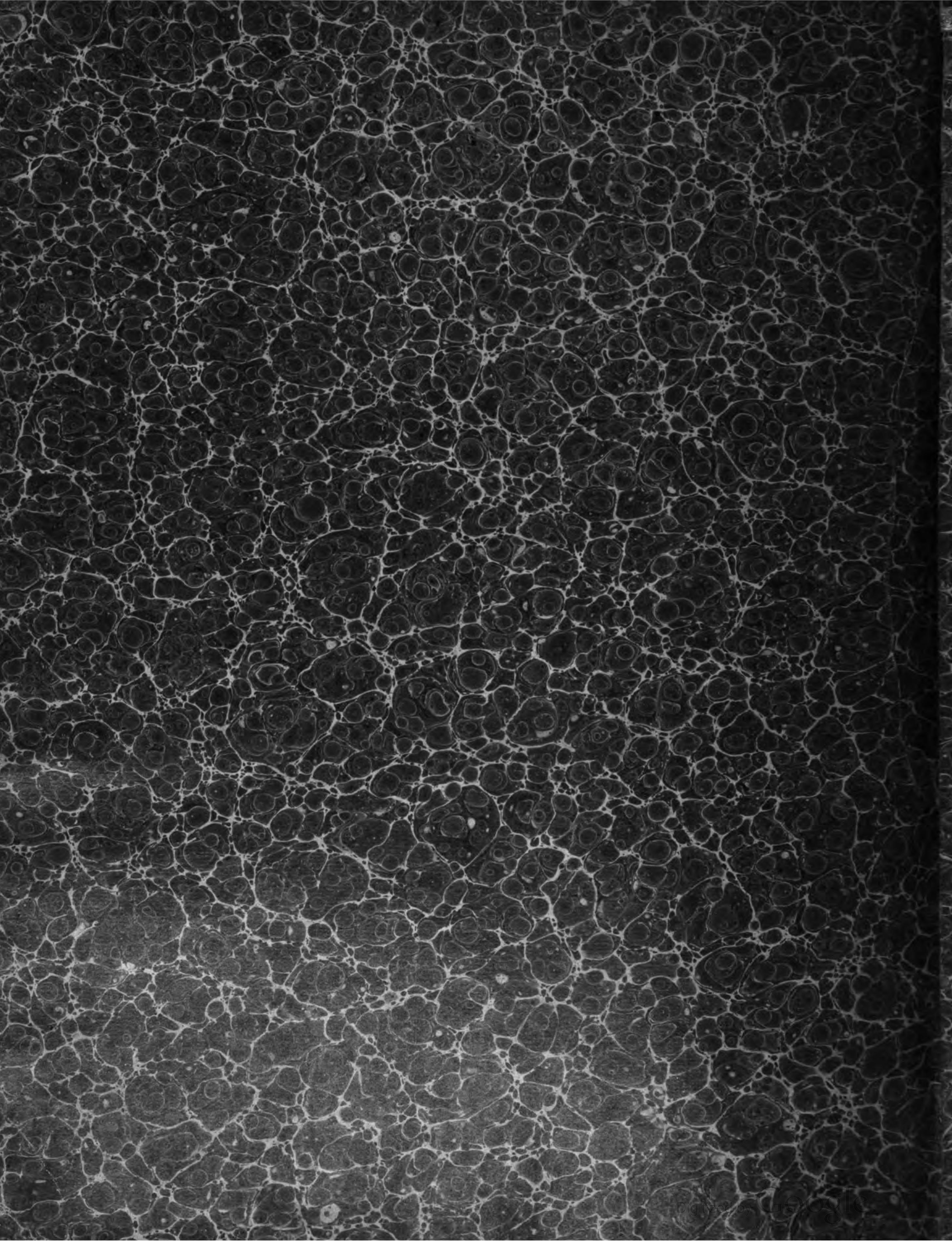
H

J

K




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0151




UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 07500 0151